

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Martin Drlík

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Vývoj měřicího systému pro ovládání LED
světlometů a měření jejich elektrických parametrů
Programmable Measurement and Control System
for LED Headlamps

2017

Bc. Martin Drlík

Zadání diplomové práce

Sřudent: **Bc. Martin Drřík**

Studijnř program: N2649 Elektrotechnika

Studijnř obor: 2612T041 Řřídící a informační systémy

Třma: **Vřvoj měřicího systému pro ovládání LED světlometů a měření jejich elektrických parametrů**
Programmable Measurement and Control System for LED Headlamps

Jazyk vypracování: čeřtina

Zásady pro vypracování:

Náplň práce je návrh a realizace programovatelného měřicího a ovládacího systému pro LED světlomety ve vývojovém prostředí LabVIEW. Nedřlnou součástí je odzkoušení měřicího systému na vybraném projektu světlometu.

Body zadání:

1. Formulace požadavků na testovací systém ve zkušební laboratoři.
2. Návrh blokového uspořádanř systému a definice funkcionality.
3. Vřběr potřebných HW komponent.
4. Implementace ovládacího SW v prostředí LabVIEW.
5. Zajiřtění komunikace měřicího systému a klimatizační komory, zprovoznění systému.
6. Odzkoušení systému na vybraném projektu.
7. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLřČEK a Martin VLACH. *Začřnáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] řONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, xxv, 829 s. ISBN 978-0-495-08252-1. Dostupné z: <http://www.engineering.uiowa.edu/~dip/LECTURE/lecture.html>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snašel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 27.4.2017



Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Mohelnici dne 20.4.2017



Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací testovacího systému pro měření elektrických veličin LED světlometů nebo jejich jednotlivých částí, tedy LED modulů či řídicích jednotek. Systém je zkompleťován na základě požadavků k testování z mnoha HW komponent, které vytváří velmi rozsáhlý měřicí a ovládací systém. Měřicí řetězec je postaven především s použitím digitálního multimetru Keithley 2700. Velký důraz je kladen na více kanálové měření proudů a napětí s oddělenými zeměmi. Dále je využito platformy National Instruments CompactDAQ, pro připojení vstupně/výstupních analogových modulů. Řídicí software je vytvořený v grafickém vývojovém prostředí LabVIEW.

Klíčová slova

Testovací systém, LabVIEW, Keithley, NI CompactDAQ, LED světlomety, Arduino MEGA, PWM signál.

Abstract

Diploma thesis is focused to design and realization of the testing device which is used for measuring electrical values LED headlamps or their individual parts such as LED modules or control units. System completion is based on the requirements for testing from many HW components, which form sophisticated measuring and control system. Whole measuring device is build on digital multimeter Keithley 2700. Special attention is aimed at multi-channel measuring of currents and voltages with galvanically isolated grounds. Furthermore National Instruments CompactDAQ is used for connection of input/output analog modules and control software is developed in graphical programming enviroment LabVIEW.

Key words

Testing system, LabVIEW, Keihley, NI CompactDAQ, LED headlamps, Arduino MEGA, PWM

Obsah

1	Úvod.....	10
2	LED technologie	11
2.1	LED dioda	11
2.2	Simulace klimatických podmínek pro LED světlomety.....	14
3	Komunikační rozhraní testovacího systému (TS)	17
3.1	RS232	17
3.2	USB	18
3.3	UART	20
3.4	CAN	21
3.5	LIN	26
4	Požadavky na testovací zařízení.....	27
4.1	Implementace digitálního měřicího multimetru Keithley 2700.	27
4.2	Implementace napěťového zdroje Delta Elektronika SM 35-45	28
4.3	Implementace přepínacích karet – ovládání napájecích kanálů.	28
4.4	Ovládací SW v prostředí LabVIEW.....	29
4.5	Příprava pro implementaci CAN komunikace	31
4.6	Konstrukční provedení TS	31
5	HW komponenty TS.....	32
5.1	Seznam komponent TS.....	32
5.2	Převzaté HW komponenty	32
5.2.1	Keithley 2700	32
5.2.2	NI cDAQ 9178 USB CHASSIS	35
5.2.3	Napájecí zdroj Delta Elektronika SM 35-45	37
5.2.4	Přepínací karta.....	38
5.2.5	Arduino MEGA 2560.....	39
5.3	Vytvořené HW komponenty	41
5.3.1	Modul s časovačem 555	41
5.3.2	Proudový zesilovač PWM.....	42
6	Návrh uspořádání TS.....	44
6.1	Blokové uspořádání - Fyzické schéma a logické schéma	44
6.2	Topologické schéma TS.....	45
6.3	Výběr přístrojové skříně.....	46

7	Návrh ovládacího SW v prostředí LabVIEW	49
7.1	Měření digitálním multimetrem Keithley	49
7.2	Analogová výstupní karta NI 9263 – Ovládání zdroje Delta a tvorba PWM signálu	52
7.3	Analogová vstupní karta NI 9229 – Kontinuální měření napětí.....	54
7.4	Arduino – Ovládání napájecích kanálů	56
7.5	Výsledná aplikace	59
8	Odzkoušení TS na vybraném projektu	69
9	Závěr	72

Seznam použitých symbolů a zkratek

TS	Testovací systém
LED	(Light Emitting Diode), dioda vyzařující světlo
LabVIEW	(Laboratory Virtual Instrument Engineering), grafický programovací jazyk
NI	National Instruments
VI	(Virtual Instrumentation), virtuální instrumentace
PWM	(Pulse Width Modulation), pulzní šířková modulace
KK	Klima kontakt
PC	(Personal computer), osobní počítač
CSV	(Comma Separated Values), typ souboru – tabulková data v textové podobě

Seznam ilustrací

Obrázek 1. Zapojení LED diody v propustném směru.....	11
Obrázek 2. Spektrální charakteristiky LED.	12
Obrázek 3. Konstrukční provedení LED v pouzdru.....	12
Obrázek 4. Řízení klimatických komor a umístění testovacího systému.	15
Obrázek 5. Základní konektory rozhraní USB.....	19
Obrázek 6. Datový přenos UART komunikace.....	20
Obrázek 7. Zapojení Master a Slave sběrnice SPI s připojením jednoho nebo více zařízení.	21
Obrázek 8. Koncepce sběrnice CAN.....	22
Obrázek 9. Fyzické uspořádání CAN sběrnice.	23
Obrázek 10. Datová zpráva podle specifikace CAN 2.0A.	24
Obrázek 11. Začátek zprávy podle specifikace CAN 2.0B (standardní).....	25
Obrázek 12. Začátek zprávy podle specifikace CAN 2.0B (rozšířený).	25
Obrázek 13. DC zdroj Delta Elektronika SM 1500 Series.....	28
Obrázek 14. Návrh přepínací desky – DPS top vrstva.	28
Obrázek 15. Základní blokové schéma přepínací karty.	29
Obrázek 16. Zapojení pinů kabelu pro spojení mezi klimatickou komorou a testovacím systémem. ..	30
Obrázek 17. Příklad přístrojové skříně 19“.....	31
Obrázek 18. Digitální multimetr Keithley 2700.....	33
Obrázek 19. Převodník RS232 na USB.	34
Obrázek 20. CompactDAQ USB chassis.	35
Obrázek 21. Vlevo analogové vstupní karty NI 9229 a vpravo analogová výstupní karta NI 9263.	36
Obrázek 22. Rozměry zdroje Delta Elektronika SM 1500 Series.....	37
Obrázek 23. Programovací konektor D-sub 15pin.....	38
Obrázek 24. Jeden řízený napájecí kanál přepínací desky.	38
Obrázek 25. Popis vývojové desky Arduino MEGA 2560.	40
Obrázek 26. Schéma zapojení AKO s časovačem TS555CN.	41
Obrázek 27. Schéma zapojení jednoho kanálu.....	43

Obrázek 28. Fyzické schéma testovacího systému.	44
Obrázek 29. Logické schéma testovacího systému.	45
Obrázek 30. Topologické schéma testovacího systému.	46
Obrázek 31. Výběr přístrojové skříně a její rozměry.	48
Obrázek 32. Program pro ovládání měření digitálního multimetru Keithley.	49
Obrázek 33. Blokové schéma použití výstupní analogové karty NI 9263.	52
Obrázek 34. Program pro ovládání zdroje Delta a vytvoření řídicího signálu PWM.	52
Obrázek 35. Generovaný PWM signál.	53
Obrázek 36. Kontinuální generování průběhu.	54
Obrázek 37. Kontinuální měření napětí bez ukládání dat do souboru.	54
Obrázek 38. Zobrazení měřeného průběhu v grafu.	55
Obrázek 39. VISA architektura s připojeným Arduinem.	56
Obrázek 40. Základní program v LabVIEW pro komunikaci s Arduinem.	57
Obrázek 41. Nastavení portu COM v systému Windows.	58
Obrázek 42. Hlavní ovládací záložka vytvořené aplikace TS.	60
Obrázek 43. Hlavní ovládací prvky vytvořené aplikace.	60
Obrázek 44. Řídicí tabulky vytvořené aplikace.	61
Obrázek 45. Blokový diagram možnosti použití podmínky klima kontaktu.	62
Obrázek 46. Začátek a konec měření, zpoždění mezi cykly měření.	63
Obrázek 47. Nastavení PWM signálu vytvořené aplikace.	63
Obrázek 48. Indikace změřených hodnot klima kontaktů.	64
Obrázek 49. Kontrola komunikace mezi Arduinem a LabVIEW.	64
Obrázek 50. Nastavovací tabulka napájecích kanálů.	65
Obrázek 51. Zobrazení hodnot měřených kanálů napětí a proudů CH 1-24.	66
Obrázek 52. Zobrazení měřených hodnot – přídavné napětí a proudy, teplota a vlhkost komory.	67
Obrázek 53. Přihlášená zařízení v MAXu.	68
Obrázek 54. Průběh teplotních schodů -40 až +105°C.	69
Obrázek 55. Blokový diagram programu TS při testu STT na vybraném projektu.	70
Obrázek 56. Derating vstupního proudu DRL při 9V.	71
Obrázek 57. Derating vstupního proudu DRL při 13,5V.	71

Seznam tabulek

Tabulka 1. Srovnání tří typů světlometů.	14
Tabulka 2. Požadované měřicí kanály.	27
Tabulka 3. Kombinace vstupních bitů multiplexoru.	39
Tabulka 4. Rozměry zařízení pro montáž do 19“ racků.	47

1 Úvod

Tato práce spočívá v návrhu a realizaci měřicího a ovládacího systému pro testování LED světlometů. Testovací zařízení využívá grafického vývojového prostředí LabVIEW, kde uživatel sám definuje sekvenci daných úkonů, které se budou vykonávat.

V automobilovém průmyslu světlometry s LED technologií disponují lepšími vlastnostmi oproti halogenovým a xenonovým zdrojům světla. Jejich výhody dlouhá živostnost, vysoká účinnost v poměru s příkonem a odolnost vůči vibracím, směřují k velmi častému nasazení. LED technologie bohužel disponuje jednou velkou nevýhodou, živostnost je značně ovlivněna vzrůstající teplotou pouzdra světelné diody. Pro tuto nevýhodu vznikají složité ochranné systémy ať už elektrické nebo mechanické. Před zahájením výroby proto musí navržený světlomet projít celou řadou dlouhých a náročných testů.

Návrh a výroba tohoto testovacího zařízení vychází pro elektrické testy při různých klimatických podmínkách v simulovaném prostředí klimatické komory – změna teploty a vlhkosti vzduchu. Měřené fyzikální veličiny testovaného modulu nebo celého světlometu mohou být teplota, napětí, a především proud, kterým se u LED technologie řídí intenzita světlení.

Softwarová aplikace testeru musí řídit následující operace:

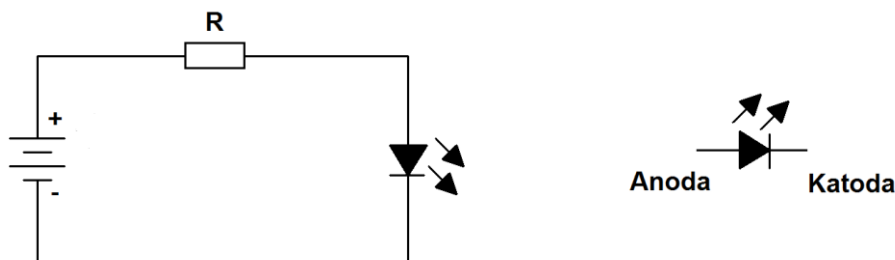
- Nastavení napěťového zdroje, z kterého jsou vzorky napájeny.
- Synchronizace s klimatickou komorou pomocí digitálních kontaktů.
- Napájecí PWM signál pro LED světlometry s možností změny frekvence a střídý.
- Vícekanálové měření proudů, napětí a teplot, následné uložení do textového souboru, pro vyhodnocení daného testu.
- Ovládání světlometu po sběrnici CAN, pokud se jedná pouze o LED moduly, nikoliv celý světlomet, lze jej ovládat pomocí spínání napájecích kanálů.

Diplomová práce navazuje na předchozí bakalářskou práci, kdy byl rovněž navržen a sestaven tester, pro testování LED modulů. Změny a inovace zde popisované verze testeru: rozšíření na dvojnásobný počet měřených kanálů 160, ovládání napájecích kanálů pomocí kontroléru Arduino MEGA, synchronizace s klimatickou komorou, implementace NI DAQ šasi pro karty 2x NI 9229 – kontinuální měření napětí a NI 9263 – tvorba PWM signálu a analogové ovládání napájecího zdroje. Zmíněné rozšíření nebylo součástí bakalářské práce.

2 LED technologie

2.1 LED dioda

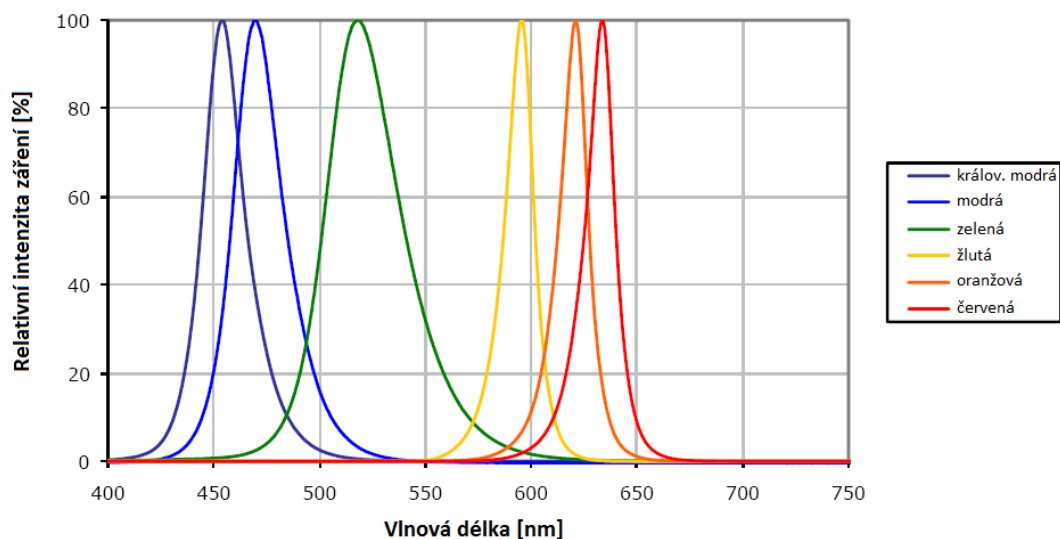
Označení LED vzniklo z anglického názvu Light Emitting Diode, což znamená v překladu dioda vyzařující světlo. Tento efektivní zdroj světla funguje na principu PN přechodu polovodičů, kdy dochází k přímé přeměně elektrické energie na energii světelnou. Elektrický proud prochází pouze jedním směrem PN přechodu, zapojení musí být v propustném směru – kladný pól napájecího zdroje připojen na anodu a záporný pól na katodu. Je-li dioda zapojena v závěrném směru, neprochází jí žádný elektrický proud a nemůže tedy vyzařovat žádnou světelnou energii.



Obrázek 1. Zapojení LED diody v propustném směru. [1]

Mezní hodnoty jednotlivých druhů diod nesmí být nikdy překročeny dle katalogových parametrů výrobce, protože by došlo k trvalému zničení diody. Z VA charakteristiky získáme mezní hodnoty diod: maximální opakovatelné špičkové závěrné napětí, maximální nárazové závěrné napětí, maximální usměrněný proud, maximální povolený impulsní proud a celkový ztrátový výkon.

Podle použitého materiálu emituje dioda viditelné světlo (červené, žluté, zelené nebo modré) nebo ultrafialové a infračervené záření (neviditelné). Polovodičový materiál určuje délku vlny a tedy i barvu vyzařovaného světla. Všechny barvy mají světelné spektrum soustředěné do úzkého pásma. Nejčastěji používané materiály pro svítivé diody tzv. „intermetalické sloučeniny“: galium-arsenid (GaAs), galium-fosfid (GaP), nejčastěji používané GaAsP (galium-arsenid-fosfid).



Obrázek 2. Spektrální charakteristiky LED.

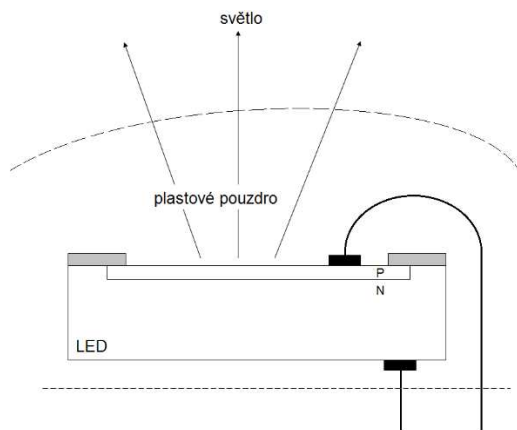
Poměrně dlouho trval vývoj bílé LED diody, které využívají polovodičového čipu ve spojení s luminoforem, tedy látkou schopnou světlo zachycovat a opět vyzařovat. Čip s luminoforem přeměňuje LED diodu emitující ultrafialové záření přímo na bílé světlo. Druhý způsob je mísení modrého a žlutého světla. Čip s luminoforem transformuje část světla z LED diody emitující modré světlo na žluté světlo, díky mísení těchto barev potom vzniká bílá LED.

Typické hodnoty napětí diody při proudu 20 mA:

$U \approx 1,6 \text{ V}$	pro červeně svítící LED
$U \approx 2,0 \text{ V}$	pro oranžově svítící LED
$U \approx 2,4 \text{ V}$	pro žlutě svítící LED
$U \approx 2,4 \text{ V}$	pro zeleně svítící LED
$U \approx 3,4 \text{ V}$	pro modře svítící LED
$U \approx 3,5 \text{ V}$	pro bíle svítící LED

[2]

Konstrukční provedení LED diody v plastovém pouzdru zlepšuje optické vlastnosti vyzařovaného světla. Kolem diody musí být vrstva materiálu (např. pryskyřice), který udává směr vyzařování světla.



Obrázek 3. Konstrukční provedení LED v pouzdru. [2]

Výhody nasazení LED diod:

- Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou.
- Jednoduché usměrnění světla.
- Odolnost vůči vibracím.
- Extrémně dlouhá životnost.
- Snadná regulace jasu.
- Možnost častého zapínání a vypínání bez obav přerušení vlákna jako u klasických žárovek.
- Dynamické chování, časy zapnutí a vypnutí 5-20 nanosekund.
- SMD verze pro desky plošných spojů.

Nevýhody:

- Teplotní závislost značně ovlivňuje životnost. U výkonových LED potřeba dostatečného chlazení.
- Vysoké pořizovací náklady.
- Modré a bílé LED jsou schopny člověku poškodit zrak.
- Velká složitost systému.

Řízení LED osvětlení

Regulace jasu LED osvětlení může být provedena mnoha způsoby:

Regulace předřadným odporem – nejjednodušší způsob zapojení diody. Podle Ohmova zákona lze velmi snadno spočítat dodávaný proud. $I = U_{\text{nap.}} - U_{\text{diody}} / \text{předřadný odpor}$.

Další možností řízení LED diody může být i jednoduchý regulátor s tranzistorem nebo zapojení s regulátorem LM317, který řídí dle zapojení napětí nebo proud.

Nejčastějším řízením je pulzně šířková modulace (PWM), kdy dodávaný proud je řízen pulzně. Princip toho řízení spočívá v neustálém zapínání a vypínání diody. Pokud je PWM signál o velmi malé frekvenci, dioda pouze bliká. Zvýší-li se frekvence blikání tedy frekvence PWM signálu nad 16 Hz, lidské oko díky jeho nedokonavosti zaznamená svit jako spojitý. Regulace však nespočívá v rostoucí frekvenci, ta jenom klame lidské oko, ale v měnící se střídě signálu.

Srovnání světelné techniky Halogen vs. xenon vs. diody

V běžném provozu lze potkat automobily s třemi typy světelné techniky, každá má své výhody a nevýhody. Je tedy otázkou kdy a za jakých podmínek je dobré používat daný typ osvětlení.

Halogen – žárovka s wolframovým vláknem a halogenovým plynem uvnitř skleněné baňky. Použití ve světlometech stále nevymizelo a to především z důvodu nízké ceny a snadné výměny vadné žárovky. Toto jsou ovšem snad jediné větší výhody. Značná nevýhoda spočívá ve velkém proudovém odběru, nutnost další žárovky pro dálková světla a malá intenzita osvětlení.

Xenon – xenonová výbojka s pevně ukotvenými wolframovými elektrodami je naplněna xenonovým plynem pod velkým tlakem. Zdrojem světla je elektrický oblouk mezi elektrodami. Nutnost startovacího napětíového impulzu pro zážeh oblouku v řádech kV. Výhodou oproti halogenu je jasnější a bělejší světlo, delší životnost, vysoký jas a výrazně nižší spotřeba elektrické energie. Příkon je stejný jak pro potkávací světla, tak pro dálková, pouze se přepíná clonka. Každá úspora dodávaného příkonu má za

následek snížení spotřeby paliva motorového vozidla. Nevýhody: i přes povinnou regulaci výšky osvětlení, nepříjemně oslňují protijedoucí auta. Výměna výbojky je možná pouze v servise, manipulace s vysokonapětovými plynovými výbojkami musí provádět pouze odborník. Nesprávné zacházení s výbojkami může vést až k explozi a tudíž zranění dotyčné osoby. Další nevýhoda je časová prodleva po zapnutí, než dosáhne plného jasu.

LED – nedisponují žádnými žárovkami či výbojkami se stlačeným plynem, ale obsahují polovodičové světelné diody. Dokáží produkovat extrémně bílé světlo s nízkým příkonem, ne však natolik nízkým jako u xenonu. Prosperují ale nejlepší účinností v přeměně elektrické energie na světlo. Jejich životnost je bezkonkurenčně nejdelší, mnohdy se uvádí bezúdržbové světlomety. Dále LED technologie dovoluje mnohem větší adaptivitu. Nevýhodou je velice složitý systém, který obsahuje spoustu funkčních prvků. Světlomety musí tedy procházet řadou elektrických a vibračních testů. Výkonové LED diody potřebují chlazení, které je řešeno ventilátory a především velkými hliníkovými chladiči. Složitost systému má za následek výrazné zvýšení ceny. U automobilů v nižší cenové kategorii se nasazení tohoto typu světla nevyplácí.

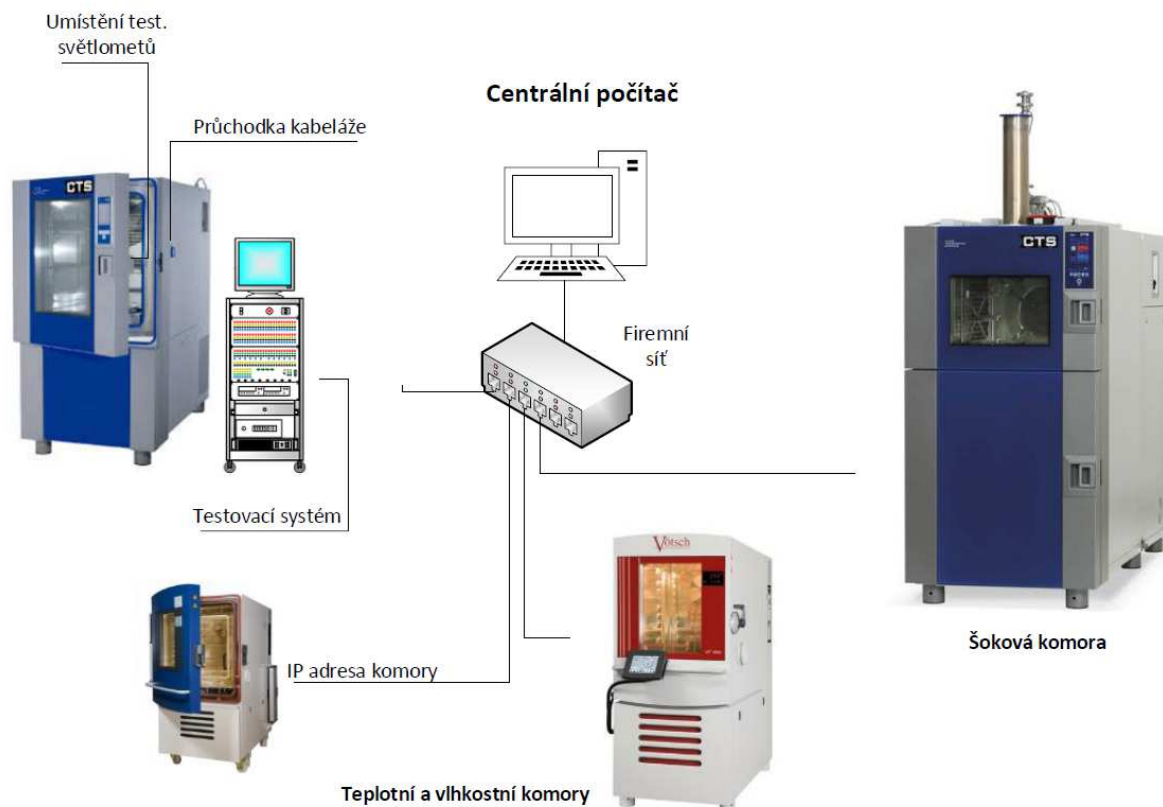
Tabulka 1. Srovnání tří typů světlometů. [3]

	Halogen	Xenon	LED
Tlumené světlo			
Dosvit (m)	140	155	160
Šíře svazku (m)	20	36	43
Osvětlená plocha (m ²)	1400	2790	3440
Elektrický příkon (W)	58	44	52
Dálkové světlo			
Dosvit (m)	215	190	260
Šíře svazku (m)	20	36	28
Osvětlená plocha (m ²)	2150	3420	3640
Elektrický příkon (W)	67	44	52

Z *Tabulka 1* lze snadno porovnat základní vlastnosti jednotlivých typů testovaných světlometů. Halogen reprezentován světlometem T9 pro Peugeot 308, adaptivní xenonový světlomet ze Škody Octavia III a LED světlomet produkt DC W205 LED LFX pro Mercedes třídy C.

2.2 Simulace klimatických podmínek pro LED světlomety

Klimatické komory a šoková komora vytváří specifické klimatické podmínky, kterým jsou LED světlomety vystaveny. Simuluje se tím prostředí, ve kterém se světlomety automobilů mohou nacházet a být vystavovány skutečnými klimatickými podmínkami. Měří se elektrické vlastnosti obvodů s LED technologií, které jsou velmi ovlivněny teplotními změnami. Testovací systém je vždy umístěn vedle dané komory a měřicí kabeláž připojená k testovaným produktům prochází speciální průchodkou komory.



Obrázek 4. Řízení klimatických komor a umístění testovacího systému.

Zkušební laboratoř obsahuje mnoho teplotních a vlhkostních komor, nejvíce společnosti Vötsch. Řízení a nastavování průběhu požadované teploty a vlhkosti probíhá z jednoho centrálního PC přes firemní síť.

Klimatické komory Vötsch

Optimální proudění vzduchu ve spojení s řídicím systémem zajišťuje homogenní rozložení teploty v testovaném prostoru. Ovládání lze kromě centrálního PC také z dotykového displeje 8" TFT, ten také slouží pro zobrazování hodnot teploty, vlhkosti, start/stop atd. Používaný ovládací software je Simpati, pomocí kterého jsou jednotlivé klimatické komory naprogramovány.

Komunikaci zajišťují rozhraní Ethernet, USB a RS232C, dále také 4 digitální výstupy a 4 digitální vstupy (24V DC). Pro vnitřní měření teploty a vlhkosti obsahuje analogové rozhraní.

Šoková komora CTS

Šoková teplotní komora CTS GmbH umožňuje změny teplot rychlostí až 100 K/min. Testované vzorky jsou přemísťovány mezi dvěma komorami pomocí tzv. výtahu, čas přesunutí je menší než 10s. Každá komora má rozdílné hodnoty teplot, proto dochází k teplotnímu šoku. Teplotní rozsah horké komory $+50^{\circ}\text{C}$ až $+220^{\circ}\text{C}$ a studené komory -80°C / $+100^{\circ}\text{C}$. Pro programování z PC a dokumentování dat používán CID software. Měření teploty komory pomocí teplotního čidla Pt100.

Každá komora dosahuje určitého výkonu, a tudíž při vytváření určitých klimatických podmínek dochází k časové prodlevě. Velmi časté testy jsou se schodovitým průběhem nastavované teploty komory. Jedná

se o klasický regulační děj, který nemůže být ideální. Proto je zapotřebí klimatickou komoru časově synchronizovat s měřicím zařízením, aby byly testované produkty měřeny při požadované teplotě.

Synchronizace klimatické komory Vötsch a testovacího systému:

Synchronizace navrženého testovacího systému s klimatickou komorou probíhá pomocí dvou digitálních kontaktů. Rozhraní těchto kontaktů je realizováno konektorem D-sub25 samec. Obsazení pinů: digitální kontakt 1 na pinech 7 a 12, digitální kontakt 2 na pinech 8 a 10. Uživatel sám definuje při programování komor, kdy a za jakých podmínek má mít digitální kontakt danou logickou úroveň. Použití těchto digitálních kontaktů dále popsáno v softwarové části testovacího systému.

Analogové rozhraní – měření teploty a vlhkosti.

V rozsahu 0-10 V teplota komory -100°C až +200°C.

V rozsahu 0-10 V vlhkost komory 0% až 100%.

Konektor komory D-sub15 samice, obsazení pinů: teplota+ 9, teplota- 1, vlhkost+ 10, vlhkost- 2.

3 Komunikační rozhraní testovacího systému (TS)

Sériová a paralelní komunikace

Sériový přenos dat probíhá sekvenčně, tzn., že jednotlivé bity přenášených dat jsou posílány postupně za sebou. Využívá se především při přenášení dat na větší vzdálenosti, protože obsahuje podstatně méně linek (vodičů) oproti paralelní sběrnici. Ovšem v současné době se velmi často prosazuje i v počítačových sběrnicích.

Paralelní přenos dat probíhá současně na více datových linkách. Tento způsob komunikace dokáže přenést mnohem více dat, nevýhoda však spočívá ve velkém množství linek, které se mohou navzájem ovlivňovat, a může docházet k rušení. Proto se používá pouze jako interní sběrnice PC nebo mikrokontrolérů. Na delší vzdálenosti by hrála také velkou roli cena, která by byla se stoupajícím počtem vodičů větší.

Rozdělení podle směru toku dat na **duplexní** a **simplexní** komunikaci.

Plně-duplexní – může probíhat oběma směry současně. Nutnost mít komunikační kanál pro každý směr, aby nedocházelo ke kolizi. V jednom okamžiku nelze probíhat obousměrná komunikace na jednom komunikačním kanále.

Polo-duplexní – obousměrné spojení ale nelze oběma směry současně – střídavé spojení.

Simplexní komunikace – může probíhat pouze jedním směrem.

Rozdělení komunikace podle časování **synchronní** a **asynchronní**.

Synchronní přenos dat je dán po stejném časovém intervalu stanoveném hodinovým signálem procesoru. Hodiny vysílače a přijímače musí běžet stejnou rychlostí, z důvodu vzorkování signálu. Proto je vysílač i přijímač synchronizován jednotným synchronizačním signálem.

Asynchronní komunikace nemá žádný hodinový signál, proto musí vysílač i přijímač znát časové parametry přenášených dat (doba trvání přenášení jednotlivých bitů). Přenášená zpráva obsahuje tzv. „Start bit“, který musí přijímač umět identifikovat. Ten způsobuje přechod datového signálu z neaktivní do aktivní úrovně a určuje tím začátek datového přenosu.

Druhy přenosu dat jsou dále děleny do více okruhů, např. z hlediska charakteru přenášeného signálu **analogové** a **digitální**, podle provedení přenosové cesty **drátové** a **bezdrátové**, podle přenášeného druhu energie atd.

3.1 RS232

Standard RS232 je komunikační rozhraní osobních počítačů a průmyslové elektroniky. Dnes se spíše od osobních počítačů ustupuje, ale v průmyslu se stále toto rozhraní používá. Jedná se o sériovou plně duplexní asynchronní komunikaci dvou zařízení. Pracuje se dvěma úrovní napětí logická 1 a 0. Log. 1 je reprezentována zápornou úrovní napětí a naproti tomu log. 0 kladnou úrovní. Napěťové úrovně mohou nabývat hodnot $\pm 5\text{ V}$, $\pm 10\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$ nebo $\pm 15\text{ V}$. Závisí na zařízení ale nejčastěji se však používá úroveň $\pm 12\text{ V}$. Rozhraní je odolné proti zkratu, max. proud 20mA. Délka přenášené zprávy je 8 bitů (může být i 7 nebo 9 bitů) a pořadí přenášených bitů je skutečně od nejméně významného bitu (LSB) po nejvýznamnější bit (MSB). Protože se jedná o asynchronní přenos, přidává se k přenosu „start bit“ a „stop bit“, pro základní kontrolu přenosu také paritní bit.

Použitý konektor je D-sub25, D-sub9 nebo RJ45. Maximální doporučená vzdálenost 15m, při zvětšující se vzdálenosti kabelu rapidně klesá přenosová rychlost. Maximální přenosová rychlost 19200 Bd/s při vzdálenosti 15m, 2400 Bd/s při 900m.

Základní dva typy zařízení:

Komunikace DTE (Data Terminal Equipment) – například počítač, zde je konektor typu samec.

Komunikace DCE (Data Circuit-terminating Equipment) – například modem, zde je konektor typu samice.

RS232 má základní tři datové vodiče RxD (Receive Data) příjem dat, TxD (Transmit Data) posílání dat a společnou zem GND, ty jsou rozšířeny o další doplňující vodiče pro řízení přenosu:

- DCD (Data Carrier Detect) – protilehlá strana signalizuje log. 1 detekce nosné frekvence.
- RTS (Request to Send) – Požadavek na vyslání dat, signál z DTE do DCE na uvolnění linky pro přenos.
- DSR (Data Set Ready) – protilehlá strana signalizuje log. 1, že jsou data připravena. DCE je připraven přijímat data, to ale neznamená, že DTE může okamžitě posílat data.
- CTS (Clear to Send) povolení vysílání – protilehlá strana signalizuje log. 1, že DTE může vysílat data.
- RI (Ring Indicator) indikace vyzvánění, tzn., že někdo požaduje datové spojení.
- DTR (Data Terminal Ready) datový terminál připraven. Log. 1 signalizuje, že DTE je připraven k činnosti.

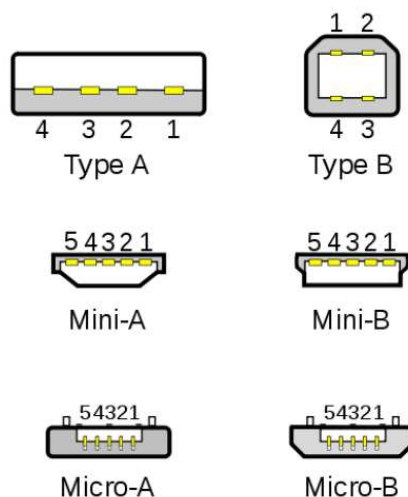
Toto rozhraní se stále používá kvůli rozšířenosti v průmyslu, značná výhoda je jeho jednoduchost. Ovšem disponuje také velkými nevýhodami, jako jsou: komunikace pouze dvou zařízení, komunikace na krátké vzdálenosti a nižší přenosové rychlosti.

[4]

3.2 USB

Anglicky „Universal Serial Bus“ je univerzální polo duplexní sériová sběrnice. Data se tedy podobně jako u RS232 přenáší bit po bitu. U osobních počítačů plně nahradila rozhraní RS232. Výhoda této sběrnice spočívá v částečném spojení s pojmem „Plug And Play“, kdy lze zařízení kdykoliv za provozu k PC připojit nebo odpojit. Systém rozpozná připojené zařízení, vyhledá a automaticky zavede potřebný ovladač. Ne však všechny připojené zařízení jsou automaticky rozpoznány, někdy je zapotřebí ovladač ručně doinstalovat. USB sběrnice může mít připojených až 127 zařízení. Často také poskytuje napájecí napětí pro připojené zařízení s výstupním proudem 100mA, v případě potřeby až 500mA. To je velká výhoda pro připojené zařízení, či periferie, které nemusí mít samostatně přivedený zdroj napájení.

USB sběrnice používá dva odlišné typy konektorů, typ A a typ B. Systém je koncipován, tak že není možná žádná záměna. Celý USB kabel je stíněný hliníkovou fólií. Maximální délka kabelu by měla být do 5m.



Obrázek 5. Základní konektory rozhraní USB.

1	+5 V (Ucc)	červená
2	Data –	bílá
3	Data +	zelená
4	GND	černá

K PC (Master) připojené zařízení se chová jako host (Slave), nemůže tedy libovolně posílat data. Rychlost je dána výhradně hostitelem, datové pakety mají 8-256 bytů. Veškerý přenos dat se uskutečňuje v rámcích (frame) o délce přesně 1 ms.

Jednotlivá komunikující zařízení jsou propojena systémem „point to point“, tzn., že jedním kabelem jsou spojena jen dvě zařízení. Nemají společné vodiče, jak tomu může být u sběrnice I2C. Ovšem větvení sběrnice lze pomocí několika rozbočovačů (hubs), tj. uzlů. Nejde o sběrnice (lineární) topologii ale spíše o stromovou strukturu.

Přenos je diferenční s napěťovými úrovněmi kompatibilní s TTL logikou. Log. 1 charakterizována, že na pinu D+ je úroveň napětí 2,8V a na pinu D- je úroveň napětí 0,3V. Log. 0 potom představuje pravý opak, kdy D+ je 0,3V a D- 2,8V.

Základní druhy USB podle vývoje generací:

USB 1.1

Přenosová rychlost pomalých zařízení (Low-Speed) 1,5 Mbit/s a rychlých zařízení (Full-Speed) 12 Mbit/s.

USB 2.0

Maximální přenosová rychlost 480 Mbit/s, zachována zpětná kompatibilita s USB 1.1 (Low-Speed a Full-Speed).

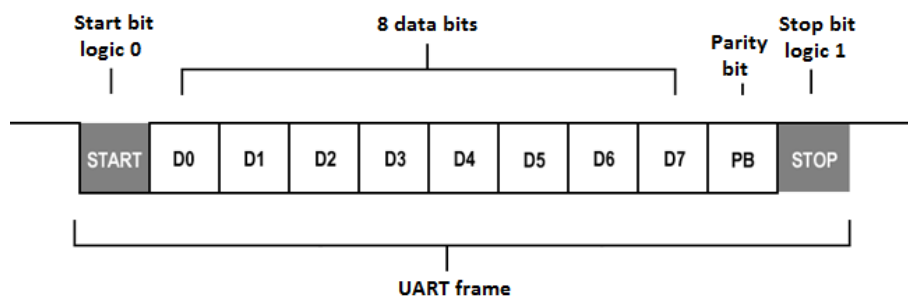
USB 3.0

Zatím poslední verze dosahuje značně vyšší přenosové rychlosti a to až 5 Gbit/s. USB 3.0 má 9 vodičů oproti původním 4 vodičům. Přesto si zachovává zpětnou kompatibilitu s předešlými verzemi.

[4] [5]

3.3 UART

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) je sériová asynchronní komunikace v plně duplexním režimu. Může být také označována SCI (Serial Communications Interface). Komunikace probíhá pomocí dvou pinů Tx (Transmit) a Rx (Receive), kdy Tx data vysílá a Rx data přijímá. Přenos dat je asynchronní, je tedy zapotřebí aby obě strany komunikace měly nastavenou stejnou přenosovou rychlost, v opačném případě by došlo k chybě přenosu. Zahájení přenosu začíná z klidového stavu log. 1 změnou do log. 0, tento bit je označován jako „startbit“. Poslední přenášený bit „stopbit“ má úroveň log. 1. Mezi start bitem a stop bitem přenášeno typicky 8 datových bitů D0 až D7 (přenos jednoho znaku), začátek od D0 (LSB). V některých obvodech UART i 9 bitů. Nastavení paritního bitu – žádný, sudý nebo lichý.

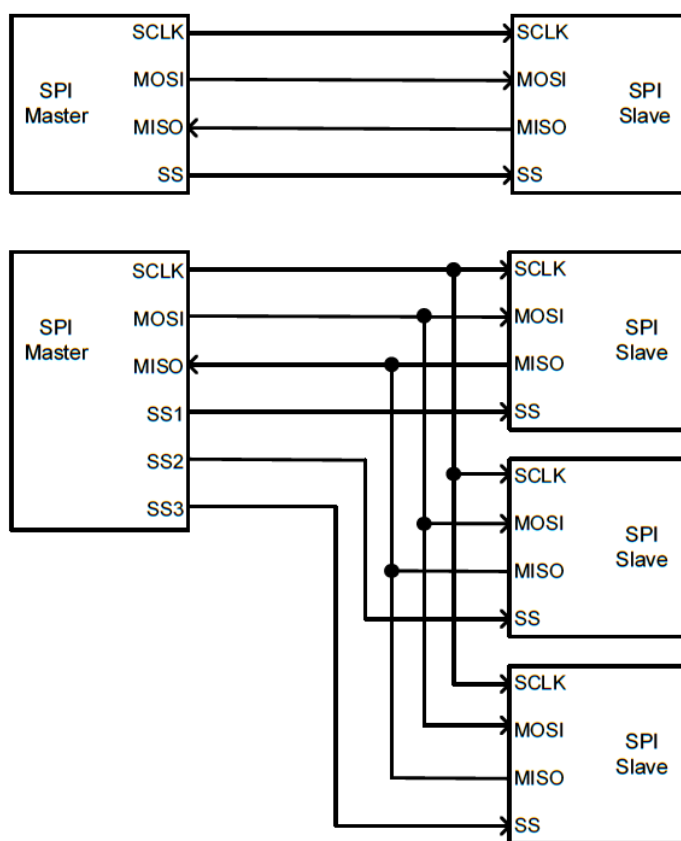


Obrázek 6. Datový přenos UART komunikace.

Synchronní varianta USART (Universal Synchronous - Asynchronous Receiver Transmitter) označována jako SPI (Serial Peripheral Interface). Rozhraní SPI se většinou používá pro spojení vnějších pamětí, A/D převodníků a dalších obvodů mikrokontroléru, případně pro vzájemnou komunikaci mezi mikrokontroléry.

Umožňuje komunikaci s více zařízeními (jeden Master, ostatní Slave), snadná implementace. Uzel, který pracuje jako master, obsahuje generátor hodinového signálu, který je rozveden do všech ostatních uzlů, čímž je umožněn zcela synchronní (navíc ještě obousměrný) přenos dat. Hodinový signál je rozváděn vodičem označovaným symbolem SCK. Kromě vodiče s hodinovým signálem jsou uzly propojeny dvojicí vodičů označovaných většinou symboly MISO (Master In, Slave Out) a MOSI (Master Out, Slave In), pomocí nichž se obousměrně (full duplex) přenáší data. Posledním signálem, který se u této sběrnice používá, je signál SSEL (Slave Select), jenž slouží – jak již jeho název napovídá k výběru některého uzlu pracujícího v režimu Slave.

[4]



Obrázek 7. Zapojení Master a Slave sběrnice SPI s připojením jednoho nebo více zařízení. [4]

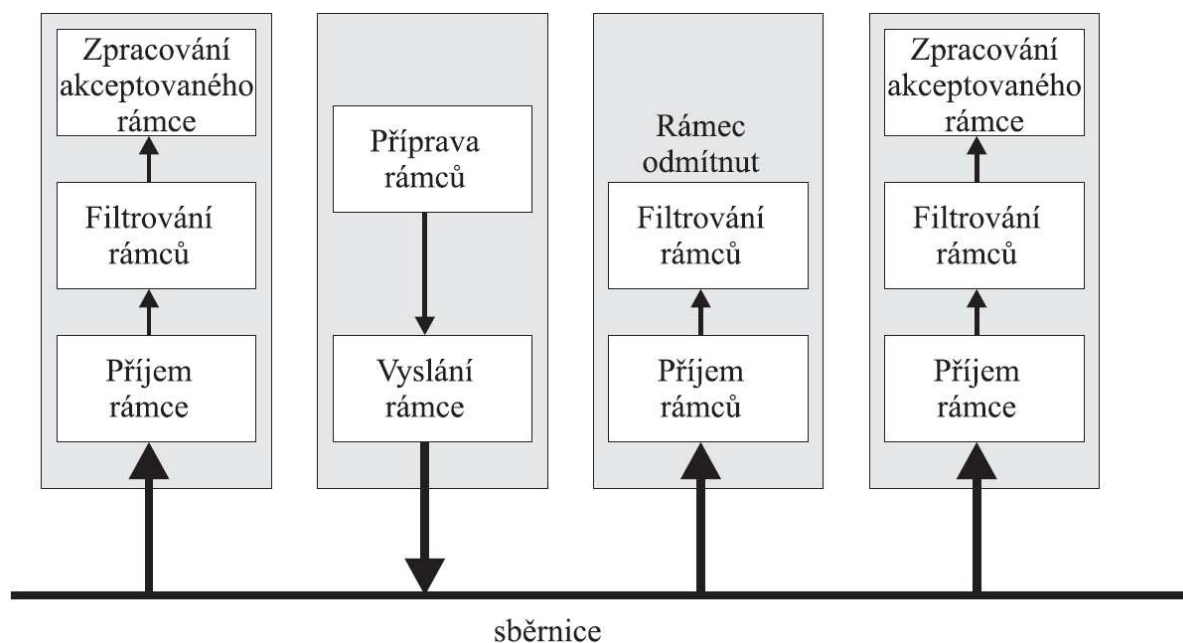
3.4 CAN

CAN (Controller Area Network) – je to sběrnice, která je nejčastěji využívána v automobilech pro vnitřní komunikační síť senzorů a funkčních jednotek. CAN sběrnice byla původně navržena pouze pro automobilový průmysl, ale vzhledem k tomu, že řada výrobců integrovaných obvodů implementovala podporu protokolu CAN do svých produktů, je i tento protokol rozšířen do aplikační oblasti průmyslové automatizace. Výhodou sběrnice CAN je snadné nasazení, spolehlivost – vysoká míra zabezpečení proti chybám, vysoká přenosová rychlost až 1Mb/s a dobrá cenová dostupnost.

Elektrické parametry fyzického přenosu jsou specifikované normou ISO 11898. Existují dvě základní specifikace: CAN 2.0A – definuje sběrnici s 11 bitovým identifikátorem a CAN 2.0B – zavádí dva pojmy standardní a rozšířený formát zprávy (rozšířený 29 bitový identifikátor). Existují také starší specifikace CAN 1.0, CAN 1.1 a CAN 1.2, které jsou zpětně kompatibilní.

Sběrnice je typu multimaster, to znamená, že každý uzel může být master a řídit tak chování jiných uzlů. Jednotlivé stanice vysílají data na sběrnici bez ohledu na to, jestli v systému mají tzv. „zájemce“ či nikoliv, všechna připojená zařízení na sběrnici přijímají posílané zprávy. Vysílané datové rámce neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, ale pouze identifikátor, který udává význam a prioritu přenášené zprávy, na základě toho potom zařízení zprávu smaže nebo pošle k dalšímu zpracování.

Protokol CAN zajišťuje v případě kolize dvou zpráv, aby byla doručena přednostně zpráva s vyšší prioritou.

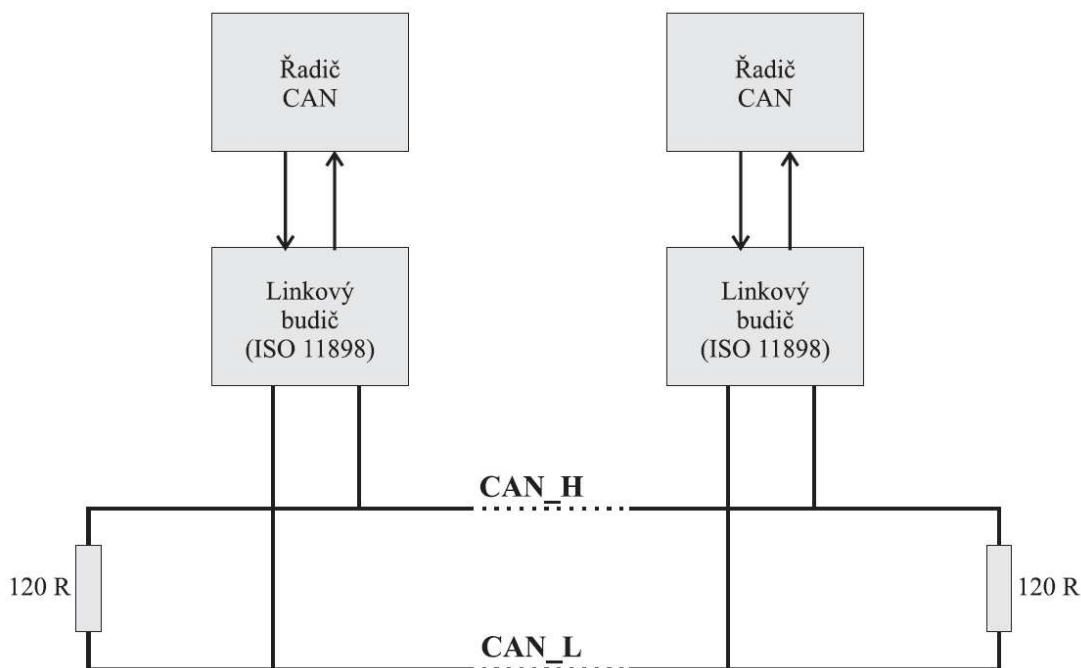


Obrázek 8. Koncepte sběrnice CAN. [6]

Fyzická vrstva:

Sběrnice CAN je realizována jedinou datovou linkou, která rozlišuje dvě logické úrovně (*dominant* – log.0 a *recessive* – log.1). Základním požadavkem je aby fyzické přenosové médium CAN sběrnice realizovalo funkci logického součinu. Vysílá-li alespoň jedna stanice úroveň *dominant* a všechny ostatní vysílají *recessive*, je na sběrnici úroveň *dominant*. Pokud vysílají všechny stanice úroveň *recessive*, je na sběrnici úroveň *recessive*. Popsané vlastnosti dominantní a recesivní úrovně jsou potřebné pro rozhodovací mechanismus, kterým je řešen přístup na sběrnici CAN.

Sběrnici tvoří dva vodiče označované jako CAN_H a CAN_L. Rozdíl napětí mezi těmito vodiči určuje podle nominálních úrovní uvedených v normě, že velikost rozdílového napětí $U_{\text{diff}} = 2\text{V}$ je úroveň *dominant* a $U_{\text{diff}} = 0\text{V}$ je pro úroveň *recessive*. Pro eliminaci odrazů na vedení sběrnice jsou oba konce zakončovány odpory o velikosti 120Ω .



Obrázek 9. Fyzické uspořádání CAN sběrnice. [6]

Ke sběrnici může být teoreticky připojen libovolný počet uzlů, ovšem s ohledem na přetížení sběrnice se udává maximální počet kolem 64 na segment. Maximální přenosové rychlosti 1Mbit/s může dosahovat pouze na krátkém spoji do 40m, s rostoucí vzdáleností spoje rychlost prudce klesá: do 300m – max. 500kbit/s, do 600m – max. 100kbit/s a do 1000m – max. 50kbit/s.

Linková vrstva:

Linková vrstva je tvořená dvěma podvrstvami LLC a MAC:

MAC – jejím úkolem je provádět kódování dat, vkládat doplňkové bity do komunikace, řídit přístup všech uzlů k médiu s rozlišením priority zpráv, detekce chyb a jejich hlášení a potvrzování správně přijatých zpráv.

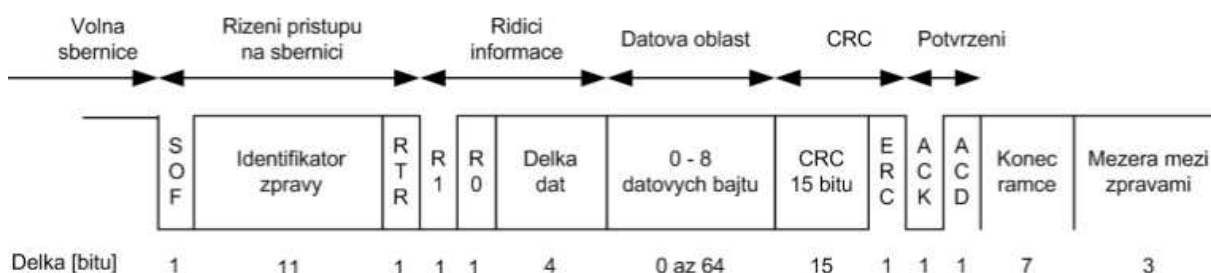
LLC – podvrstva, která má za úkol provádět filtrování přijatých zpráv a hlášení o přetíženích.

Zahájí-li vysílání dat v jeden okamžik více uzlů, dostává přednost uzel s vyšší prioritou identifikátoru (nižší hodnota identifikátoru). Identifikátor je uveden na začátku zprávy. Každý vysílač porovnává hodnotu právě vysílaného bitu s hodnotou na sběrnici a zjistí-li, že na sběrnici je jiná hodnota než vysílá (jedinou možností je, že vysílač vysílá *recessive* bit a sběrnici je úroveň *dominant*), okamžitě přeruší další vysílání. Tento způsob zajišťuje přednostní odeslání zprávy s vyšší prioritou a také zajišťuje, že nedojde k jejímu poškození. To by zapříčinilo opětovné posílání zprávy a prodloužení doby přenosu zprávy. Až bude sběrnice volná, dostává přístup uzel, který měl při kolizi nižší prioritu.

Základní typy zpráv:

- Datová zpráva – Představuje základní prvek uzlů po sběrnici. Datová zpráva umožňuje vyslat na sběrnici 0 až 8 datových bajtů.
- Žádost o data – Uzel žádá účastníky na sběrnici o zaslání požadovaných dat. Odpovědí na tento požadavek je odeslání požadovaných dat uzlem, který tato data má k dispozici.
- Zpráva o chybě – Chybová zpráva slouží k signalizaci detekovaných chyb na sběrnici.
- Zpráva o přetížení – Slouží k oddálení vyslání další datové zprávy nebo žádosti o data.

Datová zpráva – dva typy datových zpráv dle specifikace CAN 2.0A a 2.0B, jediný rozdíl ve specifikaci CAN 2.0B, která může mít rozšířený formát zprávy (větší délka identifikátoru místo 11 bitů obsahuje 29 bitů). Oba dva typy mohou být používány na stejné sběrnici, pokud je použitým řadičem podporován protokol CAN 2.0B.

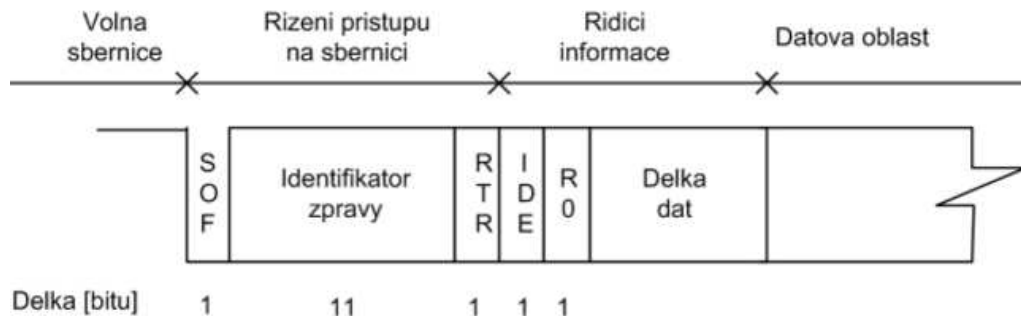


Obrázek 10. Datová zpráva podle specifikace CAN 2.0A. [7]

- SOF – Start bit, který je vždy na úrovni *dominant*.
- Identifikátor zprávy – Řízení přístupu na sběrnici a význam zprávy.
- RTR – Slouží k rozlišení zprávy zda jde o datovou zprávu. Zpráva (*dominant*) nebo žádost o zaslání zprávy (*recessive*).
- Řídicí pole, R0 a R1 vyhrazeny 2bity.
- Délka datové zprávy – V rozsahu (dddd) 0bajtů až (rddd) 8bajtů. „d“ – *dominant* (log.0), „r“ – *recessive* (log.1).
- CRC – Zabezpečovací kód, 15 bitů.
- ERC – Zakončovací bit CRC kódu.
- Potvrzovací pole je tvořené jedním bitem ACK a jedním zakončovacím bitem ECD.
- Konec rámce – Zakončovací pole tvořeno 7bity, všechny v úrovni *recessive*.

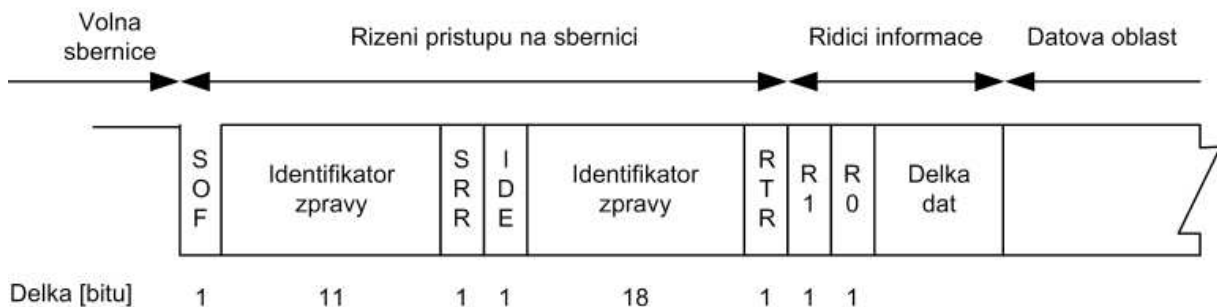
Každá poslaný rámec je oddělený mezerou, ta má minimálně 3bity.

Specifikace CAN 2.0B je téměř totožná jako předchozí CAN 2.0A s rozdílem využití bitu R1, který určuje, jestli se bude jednat o standardní zprávu nebo rozšířenou. Je-li bit IDE na úrovni *dominant*, jedná se o standardní zprávu, úroveň *recessive* potom určuje rozšířenou zprávu.



Obrázek 11. Začátek zprávy podle specifikace CAN 2.0B (standardní). [7]

Rozšířená verze specifikace CAN 2.0B obsahuje identifikátor s 29bity, ten je rozdělen do dvou částí o délkách 11 bitů a 18 bitů. Pro řízení přístupu k médium jsou použity ID (11bit), SRR, IDE, ID (18bit), RTR. Bit SRR je neustále v úrovni *recessive* a má za úkol v případě kolize mezi standardní a rozšířeným formátem zajistit aby měl přednost standardní formát zprávy před rozšířeným.



Obrázek 12. Začátek zprávy podle specifikace CAN 2.0B (rozšířený). [7]

Zabezpečení přenášených dat:

Monitoring – Vysílač porovnává vysílanou hodnotu bitu s úrovní na sběrnici. Vysílač pokračuje ve vysílání za předpokladu, že jsou úrovně stejné, pokud se porovnávané úrovně liší, vysílač přeruší vysílání a přístup dostává uzel s vyšší prioritou.

Vkládání bitu (bit stuffing) – Na sběrnici je vysíláno pět bitů stejné úrovně a jeden navíc opačné úrovně. Chyba nastává, není-li přijat bit opačné úrovně. Toto opatření také slouží ke správnému časovému synchronizování přijímačů jednotlivých uzlů.

CRC kód (Cyclic Redundancy Check) – CRC kód o délce 15-ti bitů tvoří poslední pole vysílané zprávy. Chyba nastane v situaci, kdy byl zjištěn rozdíl mezi přijatou hodnotou v poli CRC a hodnotou vypočtenou přijímající stanicí.

Chyba formátu zprávy (message frame check) – Je indikována stanicí, která zjistí nesprávnou logickou úroveň v zakončovacích bitech potvrzovacího a zabezpečovacího pole nebo v zakončovacím poli rámce.

Potvrzení přijetí zprávy (acknowledge) – Všechna zařízení připojené ke sběrnici musí správně přijatou zprávu potvrdit potvrzovacím bitem ACK (1bit) z *recessive* - vysílané vysílačem na *dominant*. To platí i pro ta zařízení, která mají zapnuto filtrování a tedy zprávu nepřijímají.

[6] [7]

3.5 LIN

(Local Interconnect Network) – jedná se o sériovou asynchronní sběrnici, která byla původně navržena, jako doplněk ke sběrnici CAN. V dnešní době se používá především v aplikacích automobilového průmyslu. Výhoda sběrnice je její nízká cena a pouze jedno-vodičové spojení komunikujících zařízení. Nasazení LIN v automobilech namísto CAN se provádí pro lepší cenovou dostupnost, a to tam, kde není potřeba takové rychlosti a bezpečnosti, jakou CAN nabízí. Aplikace, u kterých se LIN uplatní jsou především: řízení klimatizace, ovládání zrcátek, osvětlení, zámků, stěračů, stahování oken a komunikace s různými senzory.

Ke generování komunikace postačí běžný jednočipový mikropočítač s obvodem UART, v případě jednotek SLAVE není zapotřebí k činnosti přesný krystalový generátor hodin, ale vystačí i s levnými RC oscilátory. Synchronizaci pro komunikaci provádí řídicí Master na začátku každé komunikace. Pouze jeden uzel plní úlohu Master, který hlavičku zprávy, na kterou odpovídá pouze jeden oslovený Slave. Data jsou zabezpečena kontrolním součtem. Hlavička je zabezpečena dvojicí paritních bitů. Maximální přenosová rychlost je 20 kbit/s, minimální je 1kbit/s. Délka vodiče sítě může být max. 40m. Posílaná zpráva obvykle obsahuje 2/4 nebo 8 bajtů. Kolik bajtů bude obsahovat datová část, určují čtvrtý a pátý bit identifikátoru.

[8]

4 Požadavky na testovací zařízení

Návrh měřicího systému na základě použití osobního počítače a uplatnění virtuální instrumentace na vybraném PC, který disponuje s dostatečně velkým výkonem a především velkým množstvím komunikačních rozhraní. Z důvodu výhody velké flexibility virtuální instrumentace a podpory komunikačních driverů s měřicími či ovládacími přístroji, návrh softwaru proveden ve vývojovém grafickém prostředí LabVIEW.

Charakteristika LabVIEW – Programovací a vizualizační vývojové prostředí, které využívá grafický programovací jazyk. Tvorba programu pomocí grafických ikon oproti jiným textovým jazykům. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) americké firmy National Instruments (NI) označováno jako virtuální instrumentace nebo VI. Svojí činností vytváří virtuální měřicí přístroje např. multimetry, osciloskopy, generátory a datalogery, které se tváří jako skutečné.

4.1 Implementace digitálního měřicího multimetru Keithley 2700.

K jednomu multimetru Keithley 2700 lze připojit dva sloty měřicích karet po 40-ti kanálech. Z důvodu velkého obsazení měřicích kanálů, zapotřebí implementace dvou digitálních multimetrů. Celkově tedy max. 160ch.

Tabulka 2. Požadované měřicí kanály.

Počet	Název	Popis
48	napájecí napětí	Vstupní napájecí napětí testovaného vzorku.
48	napájecí proud	Vstupní napájecí proud testovaného vzorku.
24	přídavné napětí	Měřicí napěťové kanály.
24	přídavný proud	Měřicí proudové kanály.
4	teplota	Měření teploty termočlánkem typu K.
2	klima kontakt	Měření napětí klima kontaktu.
1	teplota klima komory	Měření napětí analog. výstupu klima komory.
1	vlhkost klima komory	Měření napětí analog. výstupu klima komory.
celkem 152 měřicích kanálů		

Maximální potřebný rozsah měření napětí 0 až 30V, proud 0 až 5A a teplota -150 až 200 °C.

Měření všech proudů s použitím rezistorů 0,1Ω 25W 1%, maximální proud není tedy omezen rozsahem použitého měřicího přístroje ale výkonem zvoleného bočníku.

$$P = U \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2 \quad (1)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{25}{0,1}} = 15,8 \text{ A} \quad (2)$$

Před každý odpor je nutné nasadit pojistku, z důvodu možného zničení odporu, který lze potom vyměnit pouze obtížně. Pojistky mohou být vyměněny velice snadno, není nutné rozdělovat konstrukci TS. Pojistkou se chrání odpor před velkým protékajícím proudem.

4.2 Implementace napětového zdroje Delta Elektronika SM 35-45.

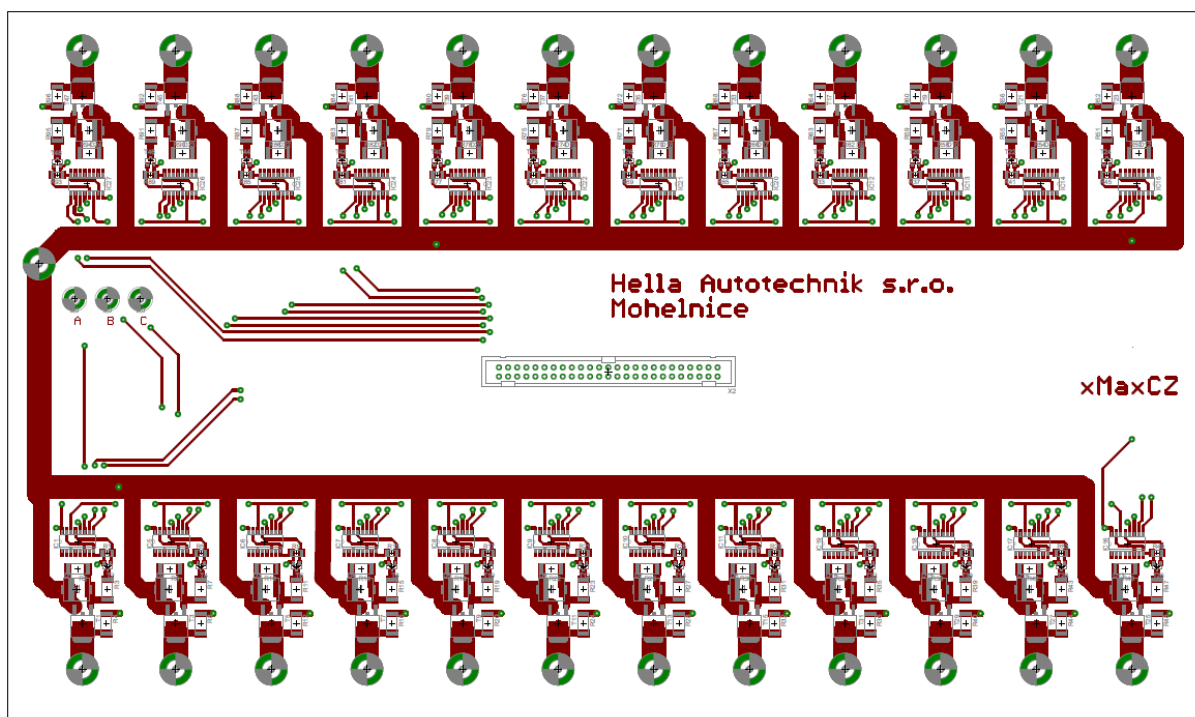
Zařazení tohoto napájecího zdroje a nutnost jeho softwarového ovládání – plní funkci napájení testovaných vzorků. Rozsah napětí 0-35V s maximálním proudem 45A. Pokud by nastala situace většího proudového zatížení, řešením by bylo připojení externího zdroje.



Obrázek 13. DC zdroj Delta Elektronika SM 1500 Series. [9]

4.3 Implementace přepínacích karet – ovládání napájecích kanálů.

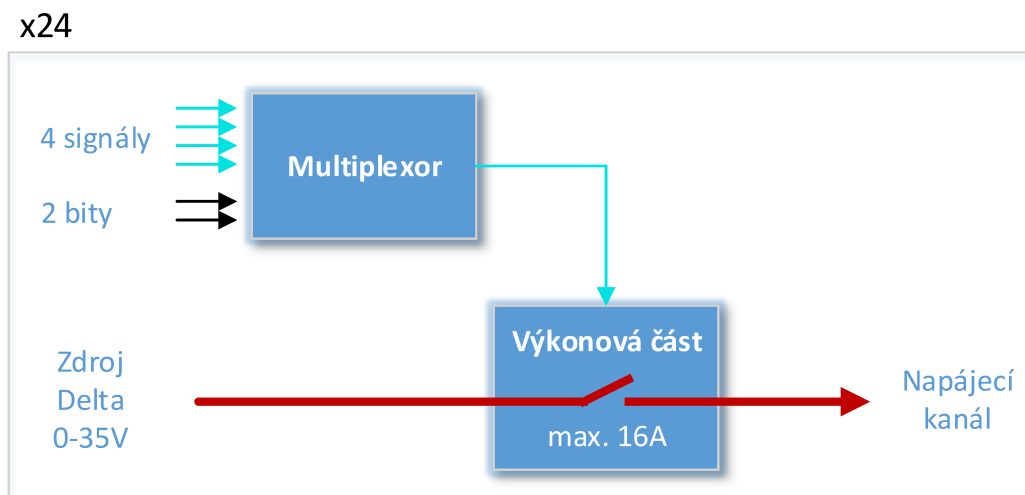
Využití konkrétně dvou „přepínacích karet“ pro ovládání napájecích kanálů. Návrh přepínací karty provedl Ing. Michal Spáčil.



Obrázek 14. Návrh přepínací desky – DPS top vrstva.

Jedna karta obsahuje 24 kanálů, celkový počet napájecích kanálů tedy 48. Každý kanál lze samostatně ovládat dvěma digitální piny. Uvnitř desky se nachází multiplex, který vybírá jeden ze čtyř možných řídicích signálů ($2^2=4$) a ten je převeden do výkonové části, výstupem je napětí a proud ze zdroje Delta.

Zapotřebí je tedy pro ovládání obou přepínacích desek 96 digitálních kanálů.



Obrázek 15. Základní blokové schéma přepínací karty.

Řídicí signály (společné pro všechny multiplexory):

1. +5V (výstupem přímé napětí ze zdroje Delta)
2. PWM (výstupem PWM signál o velikosti napětí zdroje Delta)
3. GND (výstupem 0V, napájecí kanál vypnut)
4. Blinkr (výstupem je napevno stanovený blinkr signál o velikosti napětí zdroje Delta)

Tvorba PWM signálu – řídicí signál pro multiplexor musí být v rozsahu 0-5V. Ovládání pomocí SW se střídou 0-100% (minimální krok 0,1) a frekvencí 1-300 Hz (minimální krok 1).

Tvorba blinkr signál – pro blinkr signál, který zůstává pevně nastavený, stačí jednoduchý obvod s časovačem 555. Výstup musí být opět v rozsahu 0-5V, střída 60% (ON-5V) 40% (OFF-0V) a frekvencí 1,5Hz.

4.4 Ovládací SW v prostředí LabVIEW

Vytvoření uživatelského rozhraní pro sekvenční vykonávání jednotlivých operací: nastavení zdroje napětí, ovládání připojených vzorků pomocí napájecích kanálů – ovládání přepínací karty, měření zvolených kanálů a synchronizace s klimatickou komorou pomocí klima kontaktu.

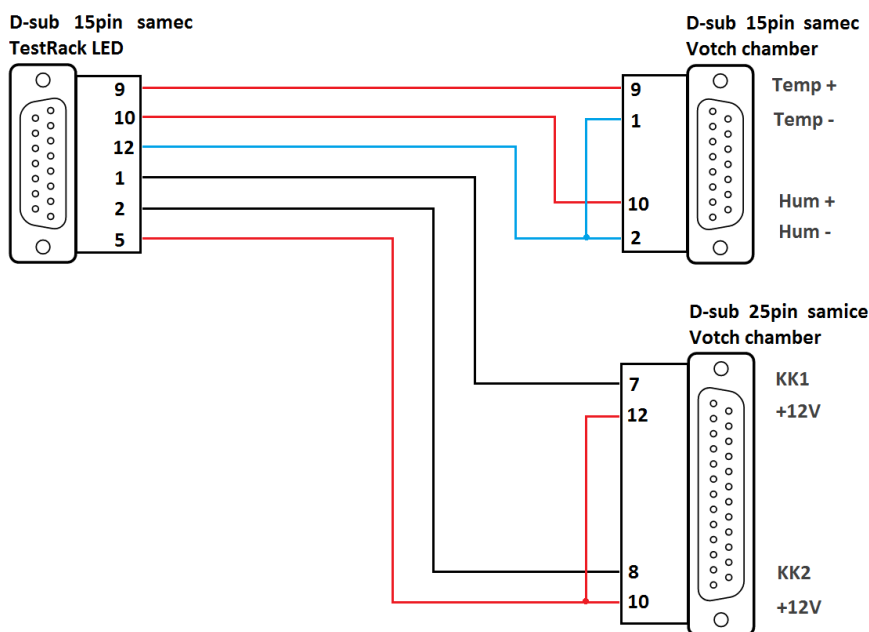
Ukládání změřených dat do souboru – každý měřený kanál musí mít název, který je možno měnit. Změřená data musí být uložena pod názvem kanálu ve sloupci, v jednom sloupci nesmí chybět časová značky měření (čas a datum). Typ ukládaného souboru ve formátu CSV pro možné vyhodnocení testu v programu Excel.

Synchronizace SW s klimatickou komorou

Synchronizaci lze uskutečnit pomocí dvou digitálních kontaktů klimatické komory. Sepnuté nebo rozepruté kontakty slouží jako podmínky, podle kterých se TS řídí. Stav klimatických kontaktů jsou definovány při programování klimatické komory. Např. až se dosáhne požadované teploty uvnitř klimatické komory, sepne se některý z kontaktů. TS na to musí reagovat vykonáním určitých operací, především měření by mělo být spuštěno na základě splnění podmínky sepnutí kontaktu.

TS by měl umožňovat alespoň jednu možnost simulace sepnutí kontaktu hardwarovou či softwarovou např. paralelní sepnutí spínačem na čelním panelu TS.

Standardně bývá klima kontakt hlídán měřením napětí, po sepnutí kontaktu měřicí přístroj naměří určitou velikost napětí a vyhodnotí podmínku jako *TRUE*. Pokud není kontakt sepnutý, naměřené napětí je nulové. Klimatické komory ovšem nemají zdroj napětí, proto je nutné z testovacího systému přivést napětí. Klasický spojovací kabel mezi klimatickou komorou a testovacím systémem je ukázán na obrázku níže.



Obrázek 16. Zapojení pinů kabelu pro spojení mezi klimatickou komorou a testovacím systémem.

Klimatická komora Votch poskytuje mezi piny 9 (Temp+) a 1 (Temp-) napětí 0-10V, toto napětí charakterizuje teplotu -100°C až +200°C uvnitř klimatické komory měřenou vlastním čidlem. Mezi piny 10 (Hum+) a 2 (Hum-) je opět analogový výstup napětí 0-10V (vlhkosti komory 0-100%).

Obsazení pinů na straně TS, konektor D-sub 15pin samice:

- 1 – Klima kontakt 1.
- 2 – Klima kontakt 2.
- 5 – Zdroj napětí, který musí poskytovat TS.
- 9 – Teplota komory -100°C až +200°C.
- 10 – Vlhkost komory 0 až 100%.
- 12 – GND.

4.5 Příprava pro implementaci CAN komunikace

V automobilovém průmyslu bývá pro komunikační účely použita sběrnice CAN nebo LIN (u světlometů velmi zřídka). Pokud je zapotřebí světlomet ovládat pomocí komunikačního rozhraní a komunikovat tedy s řídicí jednotkou světlometu, musí být v TS použito zařízení pro CAN komunikaci. Standardem se v laboratoři stalo zařízení od společnosti Gopel Electronic.

Implementace zařízení pro CAN komunikaci je pro popisovaný tester i z důvodu cenového zatížení posunuta na dobu neurčitou. Ovšem v budoucnu se musí s použitím tohoto zařízení počítat a proto je nutné vyčlenit místo při návrhu rozložení jednotlivých komponent v TS a připravit na čelním panelu možnost připojení světlometu k tomuto zařízení.

4.6 Konstrukční provedení TS

Celková konstrukce testovacího systému musí být pevná a přenositelná mezi jednotlivými místnostmi laboratoře, přesun mezi jednotlivými klimatickými komorami. Dále musí být bráno v úvahu možné využití tohoto systému v externí firmě, která doplňuje kapacity testovací laboratoře. Kladen tedy důraz na takové konstrukční provedení, aby nedošlo k nějakému poškození lehkou manipulací při přesunu mezi firmami.

Nejčastějším provedením těchto systémů bývá umístění ve stojanovém racku, který je postaven na posuvných kolečkách. Do racku jsou potom zasouvány jednotlivé části TS. Modulární řešení těchto systémů umožňuje snadnější přístup k jednotlivým částem a to je uplatněno především, když je zapotřebí opravit nebo nahradit některou z částí TS.



Obrázek 17. Příklad přístrojové skříně 19“.

5 HW komponenty TS

5.1 Seznam komponent TS

Komponenty ovládací sekce

1x PC HP ProDesk 600 G2 MT – RAM 8GB, i3 – 6100CPU 3,76 GHz

1x Napájecí zdroj Delta Elektronika SM 35-45

1x NI 9263 – analogová výstupní karta

2x Přepínací karta

2x Arduino MEGA

1x Proudový zesilovač PWM signálu

1x Modul s časovačem 555

1x CAN BUS Controller – Gopel Electronic (pozdější implementace)

Komponenty měřicí sekce

2x Keithley 2700 digitální multimetr

3x Měřicí karta 7702 40ch (Keithley)

1x Měřicí karta 7708 40ch (Keithley)

1x Převodník RS232 na USB

1x NI cDAQ 9178 USB CHASSIS

2x NI 9229 – 4ch měření napětí

5.2 Převzaté HW komponenty

5.2.1 Keithley 2700

Vysoce výkonný digitální multimetr, který dokáže logovat změřená data pomocí některého z dostupných komunikačních rozhraní. Přístroj měří napětí (DC a AC), proud (DC a AC), odpor (2 a 4 vodičově), teplotu (termočlánek, termistor a RTD), frekvenci a periodu. Dále obsahuje digitální I/O a čítač událostí. Změřenou hodnotu lze zobrazit na displeji přístroje 6 ½ digit s rozlišením 22 bitů.

Výběr tohoto měřicího přístroje byl z důvodu požadavku velkého počtu měřicích kanálů s oddělenou zemí, což Keithley splňuje díky možnému rozšíření o dva sloty měřicích karet. Měřicí karty využívají tzv. multiplexování jednotlivých kanálů, kdy je v jeden okamžik měřen pouze jeden kanál (žádný nemá společnou zem). Dobu měření to sice značně prodlouží, ale pro účely testovacího systému není zapotřebí ukládat velká kvanta dat. Každý měřený kanál lze mít samostatné nastavení např. funkci měření, rozsah atd. Při měření PWM signálu vrací přístroj RMS hodnotu měřeného signálu.

Keithley 2700 je imunní vůči přerušení dodávky elektrického proudu, data jsou zálohována baterií.



Obrázek 18. Digitální multimetr Keithley 2700. [10]

Funkce měření:

DCV	→ 0,1 μ V – 1000 V
ACV	→ 0,1 μ V – 750 V
DCI	→ 10 nA – 3 A
ACI	→ 1 μ A – 3 A
Ω 2	→ 100 $\mu\Omega$ – 120 M Ω
f	→ 3 Hz – 500 kHz
T	→ 2 μ s – 333 ms
Temp	→ -200 °C – 1820 °C

Měření PWM signálu – průběh měřen funkcí DCV (stejnosměrné napětí), která vrací střední hodnotu změřeného signálu. Maximální vzorkovací frekvence je pouze 2kHz, ovšem rozsah nastavovaného PWM je cca od 60 do 300Hz. Pro měření střední hodnoty PWM signálu LED diod tato vzorkovací frekvence postačí. Nastavení *rate* s možností výběru módu *fast*, *medium* nebo *slow*. Při vzorkovací frekvenci 1kHz vrací mód *slow* RMS hodnotu vypočtenou z 1200 vzorků, což trvá 1,2s. Zvolením módu *medium* počítá RMS hodnotu ze 120 vzorků a při módu *fast* vrací okamžitou změřenou hodnotu.

Komunikaci s vývojovým prostředím LabVIEW zajišťují volně stažitelné přístrojové drivery. Softwarové ovládání je možné s celou řadou jiných prostředí (C/C++, Visual Basic, Labwindows/CVI nebo TestPoint), takže lze vytvářet vlastní programy pro sběr dat. Komunikace přes rozhraní IEEE-488(GPIB) nebo RS 232.

5.2.1.1 Měřicí karta 7702

Měřicí karta 7702 obsahuje 40 kanálů, které umí měřit všechny nabízené funkce multimetru Keithley. Pro měření proudu disponuje navíc dvěma proudovými kanály, které můžou měřit proudy do 3A. Karta nemá kompenzaci studeného konce termočlánku, tudíž není vhodná pro zapojení měření teploty s termočlánky, i když funkci měření teploty také nabízí. Toto ovšem nevadí, protože karta je určena pouze k měření napětí. Veškeré proudové kanály testovacího systému jsou měřeny napětím přes rezistory a hodnota musí být přepočítána.

5.2.1.2 Měřicí karta 7708

Tato měřicí karta 7708 je specifikována také 40-ti kanály, stejně jako měřicí karta 7702, ale s rozdílem přítomnosti kompenzace studeného konce termočlánku. V nastavení Keithley je nutné zvolit daný typ termočlánku a potom je už snadné měřit teplotu.

Maximální měřené napětí je pro obě karty 300V.

5.2.1.3 Převodník RS232 na USB

Duální sériový převodník RS232 (2x konektor DB9 samec) na USB (konektor samec typ A). Pro správné připojení převodníku k systému Windows nutná instalace ovladače PL23023_Prolific. V elektronické příloze ve složce *Drivers* lze nalézt správnou verzi ovladače. Starší verze způsobovaly problémy s připojením, například docházelo k častému přerušení spojení.



Specifikace:

- Kompatibilní s USB specifikací v1.1 a v2.0 (Full-Speed), k dispozici USB port. Napájení ze sběrnice USB.
- Podpora komunikace dvou sériových portů najednou.
- Podpora všech běžných sériových rozhraní RS-232.
- Prolific PL2303HX D čipová sada.
- Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Win 8, Mac 10,4 / 5.

Obrázek 19. Převodník RS232 na USB.

Připojení obou digitálních multimetrů Keithley 2700 jedním kabelem k PC pomocí USB sběrnice.

5.2.2 NI cDAQ 9178 USB CHASSIS

Přenosné robustní šasi pro připojení různých druhů I/O modulů s integrovanou úpravou signálu, může měřit až 256 kanálů elektrických, fyzikálních, mechanických nebo akustických signálů. Měřený nebo generovaný signál omezen především možnostmi daného modulu či použitého senzoru. Sběr dat do PC pomocí připojení přes USB. Hlavní výhodou tohoto připojení k PC je jednoduchost detekce zařízení. Po instalaci ovladače NI-DAQmx, lze připojit libovolnou šasi NI cDAQ k počítači se systémem Windows, kde je automaticky detekováno bez další potřebné konfigurace.



Obrázek 20. CompactDAQ USB chassis.

NI Compact DAQ umožňuje současný běh až sedmi rozdílných vykonávaných operací s různou vzorkovací frekvencí. Znamená to, že až sedm připojených modulů může získat rozdílný počet vzorků za jednotku času.

Technické parametry:

- Připojení až 8 modulů do jednotlivých slotů.
- Použití čtyř 32-bitových čítačů/časovačů zabudovaných v šasi (např. operace: čítač pro měření enkodéru, měření periody a frekvence, a jako poslední generování PWM signálu).
- Běh až sedmi operací (Task) současně.
- Možnost připojení na BNC konektor externího hodinového signálu a triggeru (do 1 MHz).
- Měření kontinuálního průběhu s patentovanou technologií NI Signal Streaming.
- Rychlá konfigurace NI modulů s použitím automatického generování kódů s použitím DAQ Assistant.
- Programovací jazyky LabVIEW, ANSI C/C++, C#, Visual Basic .NET.

Obsazení slotů:

Na sloty 1 a 2 připojeny analogové vstupní karty NI 9229. Slot 4 připojena analogová výstupní karta NI 9263. Zbylé nevyužité sloty jsou připraveny pro případné rozšíření měřených kanálů a pro možnou volbu CAN komunikace s využitím této platformy od NI.

5.2.2.1 Zásuvné moduly pro NI CompactDAQ systém



Obrázek 21. Vlevo analogové vstupní karty NI 9229 a vpravo analogová výstupní karta NI 9263.

NI 9229

Analogový vstupní modul s diferenciálními napětiovými kanály. V projektu použito pro kontinuální měření napětí v maximálním rozsahu 0-30 V, celkem dva moduly = 8 měřicích kanálů. Myšlenka zakomponování těchto karet spočívá v nepřetržitém hlídání napětové úrovně měřeného signálu a detekce možných chyb. Konkrétní využití v oblasti měření blinkru světlometu s módem postupného rozsvěcování LED diod.

Technické parametry:

- Vstupní analogová měřicí karta.
- Čtyř-kanálové měření diferenciálního napětí – každý kanál izolovaný, bez společné země.
- Rozsah měření $\pm 60\text{V}$, vysoká citlivost: 24-bitové rozlišení.
- Vzorkovací frekvence 50 kHz pro každý měřicí kanál.
- Anti-aliasing filtr, provozní teplota -40 až $+70$ °C.

[11]

NI 9263

Analogový výstupní modul s řízeným napětím. Modul operuje se čtyřmi výstupními napětiovými kanály, zapojeny jsou ovšem pouze dva. První kanál ovládá napájecí zdroj Delta Elektronika řídicím napětím v rozsahu 0-5V. Druhý kanál generuje PWM signál, který ovládá jas LED diody. Tento signál je pouze řídicí, nikoliv napájecí, maximální výstupní proud 1mA.

Technické parametry:

- 4 kanály, vzorkovací frekvence generovaného signálu 100 kHz pro každý kanál.
- Výstupní rozsah $\pm 10\text{V}$, 16-bitové rozlišení.
- Maximální výstupní proud 1 mA pro každý kanál.
- Provozní teplota -40 až $+70$ °C.
- Přepětová ochrana $\pm 30\text{V}$, ochrana proti zkratu, dvojitá zemnicí izolační bariéra pro odolnost vůči rušení.
- Společná zem pro všechny kanály. Výstupní impedance 2Ω .
- Rychlost přeběhu 4 V/ μs – důležitý parametr pro generování PWM.

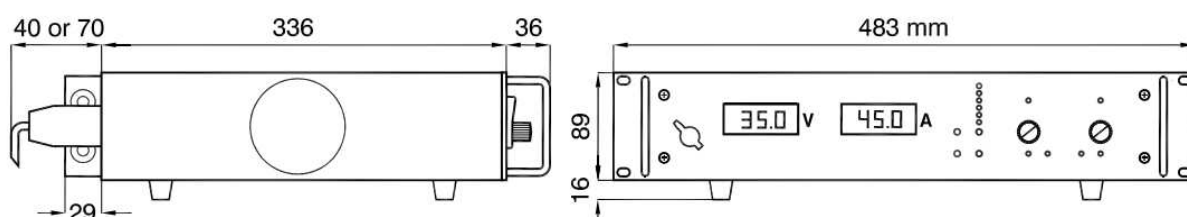
[12]

5.2.3 Napájecí zdroj Delta Elektronika SM 35-45

Automobilová technika pracuje se stejnosměrným napětím 12 a 24 V. Kvůli možnosti testování vysokého počtu vzorků musí zvládat dodávat proud ve velkém rozsahu (jednotek až desítek ampér), dlouhodobé proudové zatížení.

Stejnosměrný napájecí zdroj řady SM 1500 (1500W) s vysokým výkonem. Navrženo pro dlouhodobou životnost při plném výkonu. Paralelní provoz napětí se sdíleným proudem. Výstup: napětí 0 – 35 V, proud 0 – 45 A. Proudový odběr při standardním napětí 230 V AC je 7,7 A. Provozní teplota -20 °C až +50 °C.

Konstrukční provedení je navrženo do rackových systémů 19“. Rozměry lze vidět na obrázku níže, uchycení zdroje k rackové jednotce standardně pomocí čelního panelu.



Obrázek 22. Rozměry zdroje Delta Elektronika SM 1500 Series. [9]

Ovládání zdroje lze pomocí programování nebo potenciometrů na čelním panelu zdroje. Možnost softwarového ovládání umožňuje sériová linka RS 232 nebo analogový vstup napětím 0-5V. Určitý typ napájecího zdroje lze zakoupit s Ethernetovým rozhraním, ovšem nutnost zakoupení Ethernetového programátoru zvyšuje cenové náklady pro SW ovládání.

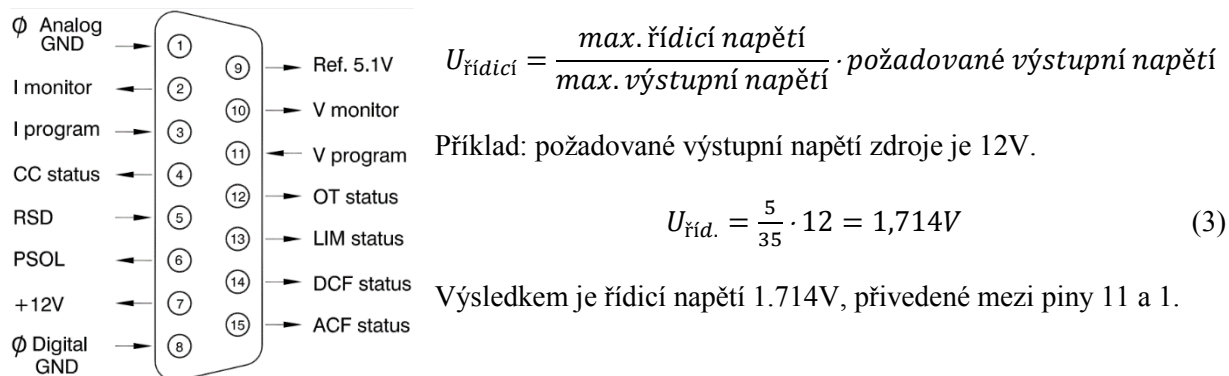
Ovládání na čelním panelu:

Čelní panel obsahuje dva otočné potenciometry, kterými lze nastavit napětí zdroje a jeho proudové omezení. Aby požadované nastavení napětí bylo na výstupu, musí být spuštěn spínač *OUTPUT ON/OFF* (led signalizace). Tlačítkem *REMOTE LOCAL* je určeno, která veličina bude ovládána s čelního panelu a která pomocí programovacího konektoru ze zadní strany zdroje. Napětí i proud je možno ovládat s čelního panelu nebo pomocí SW. Lze také samostatně jednu veličinu nastavit na čelním panelu a druhou programově.

SW ovládání:

V projektu byla vybrána výstupní analogová karta NI 9263, která má za úkol řídit napájecí zdroj Delta pomocí programovacího vstupu s analogovým rozhraním. Řízenou veličinou je pouze napětí, proudové omezení nastavováno z čelního panelu.

Pro ovládání napětí jsou důležité pouze piny 11 (+V) a 1 (GND), které řídí napětí 0-5V výstupní napětí zdroje 0-35V. Jednoduchou rovnicí lze tedy spočítat řídicí napětí pro požadované napětí zdroje.

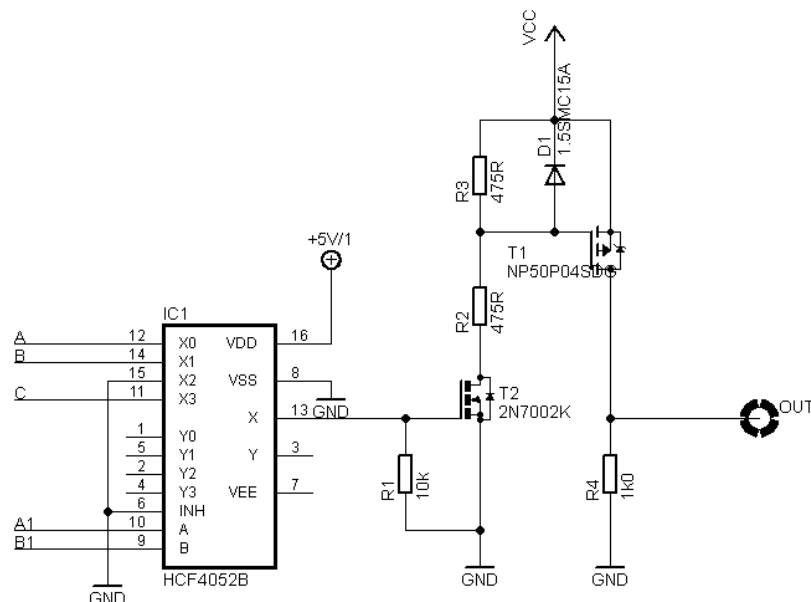


Obrázek 23. Programovací konektor D-sub 15pin. [9]

Rychlost změny napětí pomocí programového ovládání je v řádech jednotek až desítek ms, toto zpoždění je pro účely testovacího systému zcela zanedbatelný.

5.2.4 Přepínací karta

Funkce přepínací karty spočívá, jak již bylo zmíněno ve 4. kapitole v sekci „Implementace přepínacích karet – ovládání napájecích kanálů.“ v ovládání napájecích kanálů TS. Jedna přepínací karta obsahuje 24 napájecích kanálů, pro každý napájecí kanál lze vybrat samostatně nezávisle na druhém jeden ze čtyř možných řídicích signálů, který je ve výkonové části zesílen napětím zdroje Delta, ten také dodává potřebný proud pro testované vzorky. Čtyři možné signály jsou: nastavené PWM, blinkr, přímé napětí ze zdroje nebo nulový signál, tedy stav vypnuto.



Obrázek 24. Jeden řízený napájecí kanál přepínací desky.

Multiplexor HCF4052B vybírá na základě kombinace vstupních bitů A, B jeden ze čtyř možných vstupů (řídících signálů). Vstup X2 je uzemněn a představuje stav vypnuto. Vybraný řídící signál potom ovládá tranzistor T2, který spíná výkonový tranzistor T1. Po sepnutí výkonového tranzistoru se dostává napětí VCC (napětí zdroje Delta) na výstup. Výkonový obvod je dimenzovaný až na 16A, tudíž teoreticky dokáže každý kanál dodávat maximální proud 16A, v celkovém součtu je toto nereálné z důvodu proudového limitu zdroje 45A.

Napájení multiplexoru +5V je zajištěno stabilizátorem napětí, který je připojen k napětí VCC. Obvod začíná fungovat cca od 3.5V zdroje Delta. Žádné testované vzorky nevyžadují napětí menší než 3.5V, lze tedy napájení multiplexoru řešit tímto způsobem pomocí stabilizátoru napětí.

Tabulka 3. Kombinace vstupních bitů multiplexoru.

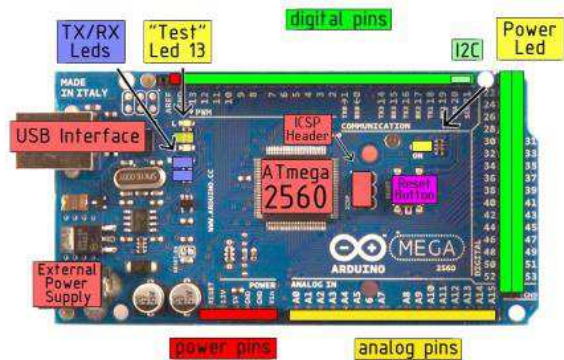
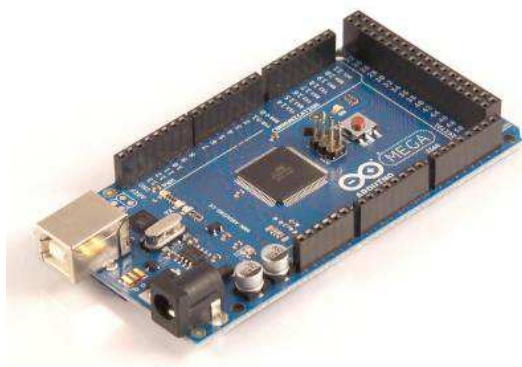
	Kanály	bit 0	bit 1
Vstup X0 - přímé napětí zdroje	1 - 24	0	0
Vstup X1 - blinkr signál	1 - 12	1	0
	13 - 24	0	1
Vstup X2 - GND, tav vypnuto	1 - 12	0	1
	13 - 24	1	0
Vstup X3 - PWM signál	1 - 24	1	1

Bit 0 představuje vstup multiplexoru A a bit 1 vstup B. Při návrhu přepínací desky došlo k nežádoucí záměně vstupu A a B u prvních 12 kanálů, proto lze vidět z tabulky složitější kombinaci ovládacích bitů, které řídí výběr daného signálu. Tento problém lze snadno řešit softwarově, jenom je zapotřebí na danou kombinaci myslet.

5.2.5 Arduino MEGA 2560

Arduino Mega 2560 zvoleno z důvodu možnosti využití velkého počtu digitálních výstupních pinů, kterými jsou řízeny multiplexory na přepínací kartě. Ovládány jsou dvě přepínací karty, každá potřebuje 48 dig. kanálů, celkově tedy 96. Pro tak velký počet pinů musely být využity dvě Arduina, rozdělení ovládacích kanálů je rovnoměrné na každou desku 48.

Základní popis – je to lehce programovatelná vývojová deska s procesorem ATmega2560. Obsahuje 54 digitálních I/O kanálů (14 z nich může být použito pro PWM výstup) a 16 vstupních analogových kanálů (změnou konfigurace mohou být použity jako digitální I/O kanály).



Obrázek 25. Popis vývojové desky Arduino MEGA 2560. [13]

Technické parametry:

- Procesor ATmega2560.
- 54 digitálních I/O kanálů (15 PWM výstup).
- 16 vstupních analogových kanálů.
- Maximální proud jednoho I/O kanálu 40mA, dlouhodobě 20mA. Pro pin 3,3V max. 50mA.
- Flash paměť 256 kB, SRAM 8 kB, EEPROM 4kB.
- Frekvence mikroprocesoru 16 MHz.
- USB konektor typ B – připojení k PC, napájecí souosý konektor 2.1 mm, ISCP konektor pro připojení programátoru.

Napájení:

Napájecí napětí v mnoha případech stačí 5V z USB konektoru, vstupní proud je omezen USB konektorem PC max. 500mA. Pokud napájení desky nestačí proudově z USB nebo nechceme, aby napájení desky bylo závislé pouze na USB, lze připojit externí napájení 6-12V (souosý konektor 2.1 mm). Připojené externí napájení je stabilizováno na 5V – pracovní napětí procesoru ATmega2560.

Komunikační možnosti:

Arduino je vybavenou celou řadou komunikačních možností pro práci s PC nebo jinými zařízeními, mikrokontroléry: 4x UART (TTL 5V), SPI a I2C.

UART – jedna sériová linka připojena k převodníku ATmega16U2 - USB na TTL (UART). USB převodník složí pro připojení k PC a možnost programovat desku jednoduše přes USB, v počítači se Arduino automaticky přihlásí pod některým z COM portů. Protože Arduino bylo vytvořeno jako tzv. „Open Source“ verze, vzniká celá řada totožných klonů, která má jeden zásadní rozdíl. Využívá jiný USB čip CH340/341, ovladač pro tento čip je potřeba v systému Windows doinstalovat. Po instalaci ovladače se Arduino po připojení k PC chová totožně, jako s originálním čipem.

5.3 Vytvořené HW komponenty

5.3.1 Modul s časovačem 555

Modul s časovačem 555 byl navrhnut jako astabilní klopný obvod, který slouží pro vytvoření blinkr signálu. Tento signál je jedním ze čtyř řídicích signálů přepínací desky. Návrh AKO je velice snadný a pro jeho výrobu stačí jeden kondenzátor, dva odpory a jeden časovač 555, konkrétně zvolený typ TS555CN.

Požadované parametry signálu jsou frekvence 1,5 Hz se střídou 60% (60% log.1 a 40% log.0).

Pro výpočet odporů je nutné zvolit si hodnotu kondenzátoru, samozřejmě z dostupné řady. Převedením frekvence na periodu a použitím střidy je znám čas signálu v log.1 ($T \cdot 0,6$) a v log.0 ($T \cdot 0,4$).

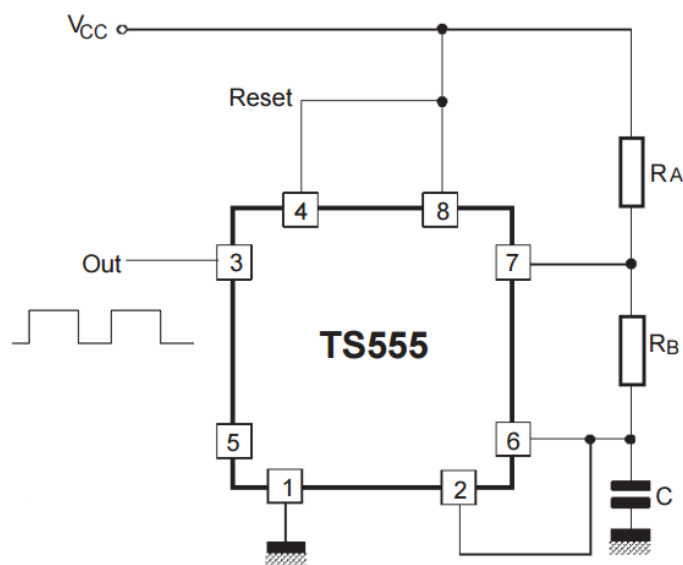
Perioda signálu: $T = t_1 + t_2$

Doba nabíjení – t_1

$$t_1 = \ln 2 \cdot (R_A + R_B) \cdot C \quad (4)$$

Doba vybíjení – t_2

$$t_2 = \ln 2 \cdot R_B \cdot C \quad (5)$$



Obrázek 26. Schéma zapojení AKO s časovačem TS555CN. [14]

Výpočet odporů R_A a R_B :

Zvolená hodnota kondenzátoru $10\mu\text{F}$

$$R_B = \frac{t_2}{\ln 2 \cdot C} = \frac{\frac{1}{f} \cdot 0,4}{0,693 \cdot C} = \frac{\frac{1}{1,5} \cdot 0,4}{0,693 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 38\,480\,\Omega$$

$$R_A = \frac{t_1}{\ln 2 \cdot C} - R_B = \frac{\frac{1}{f} \cdot 0,6}{0,693 \cdot C} - R_B = \frac{\frac{1}{1,5} \cdot 0,6}{0,693 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} - 38\,480 = 19\,240\,\Omega$$

Výběr z řady E24 ($\pm 5\%$):

1,2 5,6 18 33

Odpor R_A a R_B jsou sestaveny sériovým řazením více odporů, protože výběr z řady E24 neobsahuje přesné hodnoty, které byly vypočteny. $R_A = 18 \text{ k}\Omega + 1,2 \text{ k}\Omega$; $R_B = 33 \text{ k}\Omega + 5,6 \text{ k}\Omega$.

Výstup tohoto obvodu je připojen k volnému kanálu proudového zesilovače PWM, který zajistí dostatečný proud pro přepínací desku. Blinkr tedy rovněž jako PWM signál spíná tranzistor BS170, kdy výstupem je spínané napětí 5V s maximálním proudem 73,5mA viz. *Proudový zesilovač PWM*.

5.3.2 Proudový zesilovač PWM

PWM signál vytvářený analogovou výstupní kartou NI 9263 musí být proudově zesílen, maximální výstupní proud 1mA je nedostačující. Jedná se pouze o řídicí signál pro přepínací desku, ta ovšem obsahuje v jedné části obvodu uzemňovací odpor 10k, přes který protéká proud 0,5mA při 5V. Když se vynásobí celkový počet využitých napájecích kanálů (48), pro který je PWM signál společný, výsledkem je proud až 24mA.

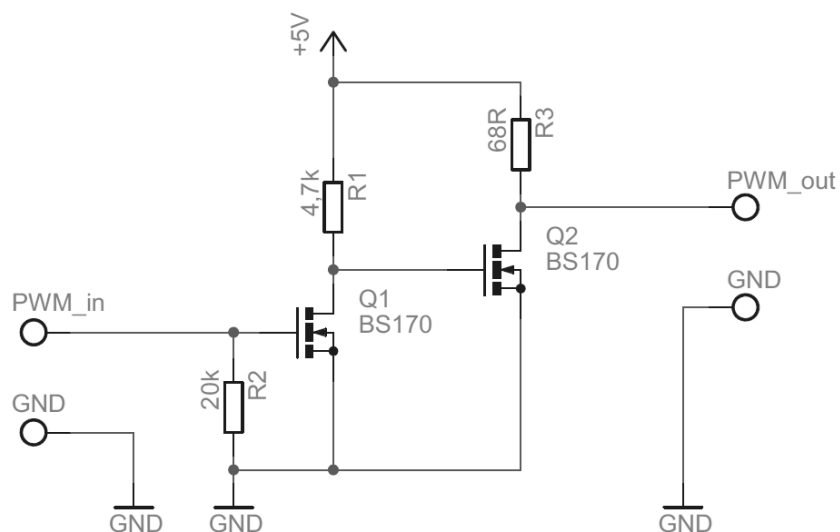
Přepínací karta byla navržena již dříve pro dřívější účely a nebylo počítáno s ovládáním analogové karty, která má výstupní proud pouze 1mA.

Návrh a realizace:

Protože pulzně šířková modulace je v podstatě digitální signál měnící střidu a frekvenci, lze tento signál snadno zesílit použitím tranzistoru jako spínače. Celé schéma zapojení navrženého obvodu, DPS ze strany součástek a předlohu pro výrobu DPS lze dohledat v *Příloha 1*. Obvod obsahuje 4 zesilovací kanály pro připojení PWM signálu a blinkru, dva kanály zůstávají volné stejně jako u výstupní analogové karty.

Popis zapojení jednoho kanálu – tranzistor je typu MOSFET, který je řízen pouze napětím mezi *gate* (obdoba báze) a *source* (obdoba emitoru). Pro sepnutí tranzistoru není zapotřebí téměř žádný proud a není třeba počítat jako u bipolárního tranzistoru velikost proudu, který by tranzistor sepnul. Dle parametrů byl vybrán unipolární tranzistor BS170, který dokáže spínat proud až 0,5A. V obvodu jsou zapojeny dva tranzistory, přivedením napětí na vstup *gate* Q1, se tranzistor otevře a proud z odporu R1 začne protékat na zem, výstupem je nulové napětí tedy logická nula. Pokud je na vstupu *gate* nulové napětí, tranzistor je zavřený a výstupem je +5V, jedná se tedy o inverzní funkci. Zařazení druhého tranzistoru ruší inverzní funkci, pokud je na vstupu log. 1 na výstupu je taktéž log. 1, stejně tak s log. 0. Velikost výstupního napětí je vždy 0 nebo 5V. Vstupní napětí může být dle parametrů tranzistoru až +15V.

Zvolené hodnoty odporů: $R_1 = 4,7\text{k}$, $R_2 = 20\text{k}$ a $R_3 = 68\text{R}$. Velikost odporu R_1 může být o něco větší, protože přivedené napětí +5V spíná druhý tranzistor, není zapotřebí žádný proud. Odpor R_2 zajišťuje, aby vstup nevisel tzv. ve vzduchu, používá se běžně u mikrokontroléru, který by mohl mít v určitých případech např. po resetu velkou impedanci, R_2 potom drží napětí mezi vstupem *gate* a zemí. Hodnota odporu R_3 už určuje, jaký bude maximální výstupní proud. Velikost 68R při napětí 5V umožňuje procházet proud 73,5mA. Při výběru odporu bylo důležité také počítat se ztrátovým výkonem, který dosahuje 0,37W. Tento výkon by klasické 1/4W odpory velmi brzo zničil, proto vybrán odpor s maximálním výkonem 2W.



Obrázek 27. Schéma zapojení jednoho kanálu.

Parametry zvoleného unipolárního tranzistoru BS170:

I_{dss} 0,5A maximální spínaný proud (drain-source).

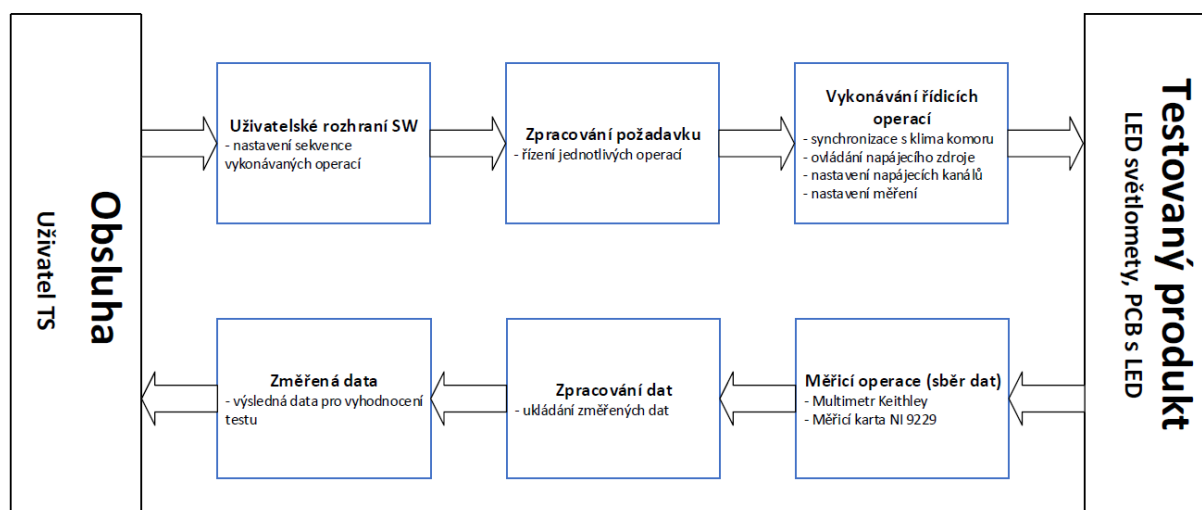
U_{ds} 60V maximální spínané napětí (drain-source).

U_{gs} 15V maximální vstupní napětí pro spínání tranzistoru (gate-source).

$P_d = 0,83W$ maximální ztrátový výkon.

Pro ověření výpočet spínaného výkonu: $P = \text{maximální spínaný proud} \cdot \text{spínané napětí} = 0,0735 \cdot 5 = 0,3675W < P_d$.

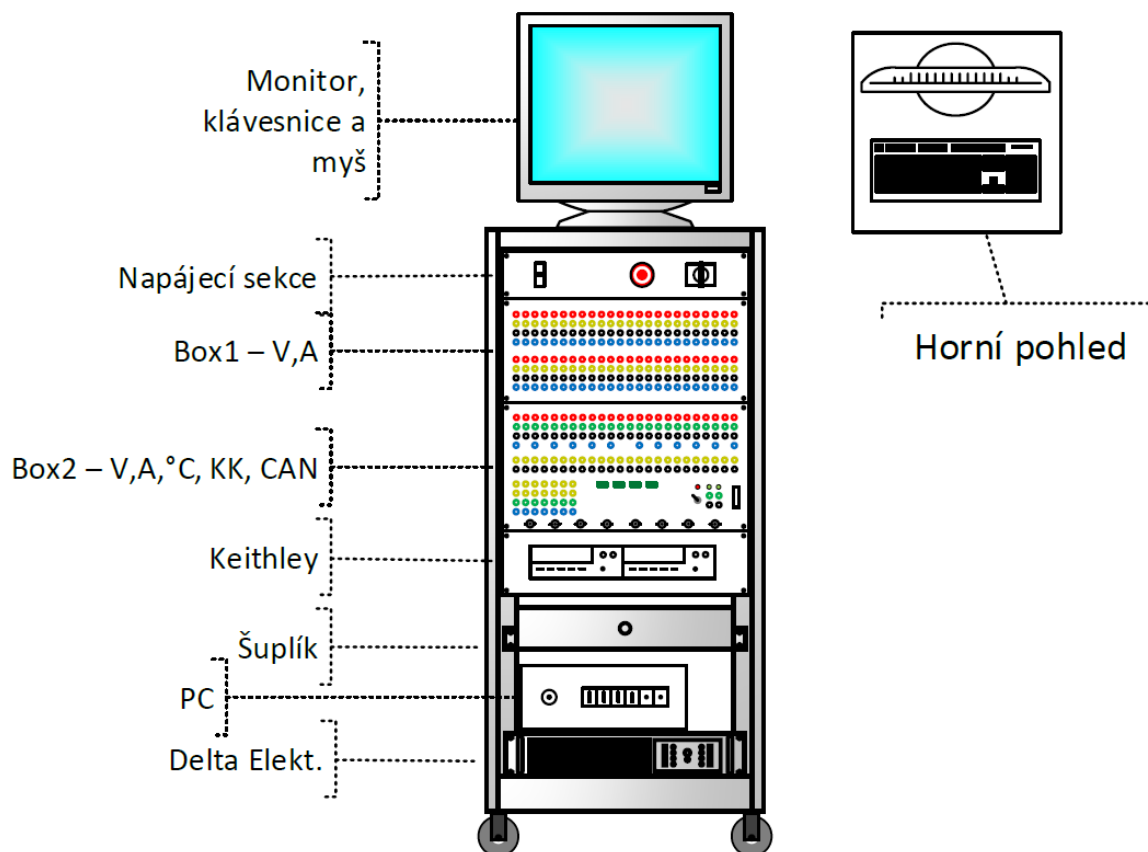
probíhá formou ukládání změřených dat do CSV souboru. Jednotlivé kanály rozřazeny do sloupců pro následné vyhodnocení testu v programu Excel, kde si uživatel sám vytváří grafy změřených hodnot.



Obrázek 29. Logické schéma testovacího systému.

6.2 Topologické schéma TS

Rozmístění komponent a hlavně čelní pohled TS zobrazuje topologické schéma. Ze schématu lze vidět, že se jedná o pojízdný měřicí systém na kolečkách. Racková skříň 19“, ve které jsou umístěny veškeré komponenty TS. Na volné vrchní ploše skříně je umístěn monitor s klávesnicí a myší.



Obrázek 30. Topologické schéma testovacího systému.

Ve spodní části rackové jednotky se nachází napájecí zdroj Delta (19“). Na zdroji leží osobní počítač, jedná se o klasický desktop, tudíž velikosti neodpovídá parametrům přístrojové skříně. PC je připevněn jinými úchyty k horní části napájecího zdroje. Dále je nad PC zakomponován rackový šuplík (19“) pro úschovu drobných věcí jako např. propojky, termočlánky atd. Výběr umístění digitálních multimetrů mělo velice nízkou prioritu, ovládány jsou pouze pomocí SW, není třeba jakéhokoliv nastavování po zapnutí TS. V úvahu bylo bráno spíše umístění: napájecí sekce, boxu 1 a boxu 2. Nejvýše je postavena napájecí sekce, která obsahuje řadu bezpečnostních a indikačních prvků a především hlavní vypínač. Box 1 měří vstupní napětí a proudy testovaných produktů, který jsou zároveň ovládány pomocí napájecích kanálů. Při testování je předpokládáno největšího vytížení měřicích kanálů právě tohoto boxu. Box 2 je určen pro měření přídavných napětí a proudů, termočlávkové měření teploty, kontinuální měření napětí a připojení ke klimatické komoře. Panel je také připraven pro implementaci CAN komunikace.

Všechny návrhy čelních panelů TS lze dohledat Příloha 2.

Čelní panel, schéma zapojení a komponenty napájecí sekce TS jsou vloženy samostatně v Příloha 3.

6.3 Výběr přístrojové skříně

Výběr skříně pro montáž 19“ zařízení byl ovlivněn především rozměry všech zařízení umístěných uvnitř celé jednotky. Maximální rozměrový limit TS byl dán především výškou dveří mezi jednotlivými

laboratorními místnostmi 1970mm. Umístění monitoru s klávesnicí a myši dovnitř přístrojové skříně nebylo možné z důvodu nabízených produktů, které nesplňovali zmíněnou limitující výšku. Použita tedy nižší přístrojová skříň s umístěním monitoru a ovládacích prvků na horní plochu TS. Nutno bylo také počítat s instalací koleček pro možný přesun TS mezi laboratořemi, výška koleček cca 13cm.

Tabulka 4. Rozměry zařízení pro montáž do 19“ racků.

	Vnější rozměr	Čelní panel	Rackové jednotky
	výška x šířka x hloubka [mm]		U
Napájecí sekce	88 x 444 x 310	88 x 483 x 3	2U (19")
Box1	221 x 430 x 425	221 x 483 x 3	5U (19")
Box2	266 x 430 x 425	266 x 483 x 3	6U (19")
Keithley (x2)	89 x 213 x 370	177 x 483 x 3	4U (19")
Šuplík	88 x 435 x 500	88 x 483 x 1,5	2U (19")
Počítač	170 x 350 x 350		
Zdroj Delta	89 x 442 x 365	89 x 483 x 3	2U (19")

Minimální požadovaná výška pro vložení všech zařízení:

$$v_{min.} = 88 + 221 + 266 + 177 + 88 + 170 + 89 = 1099 \text{ mm}$$

Výpočet minimální požadované výšky je součet všech výškových rozměrů, protože vkládání daných 19“ zařízení lze pouze na sebe, jediné dva multimetry mohou být díky svým menším rozměrům řazeny vedle sebe.

Minimální požadovaná hloubka:

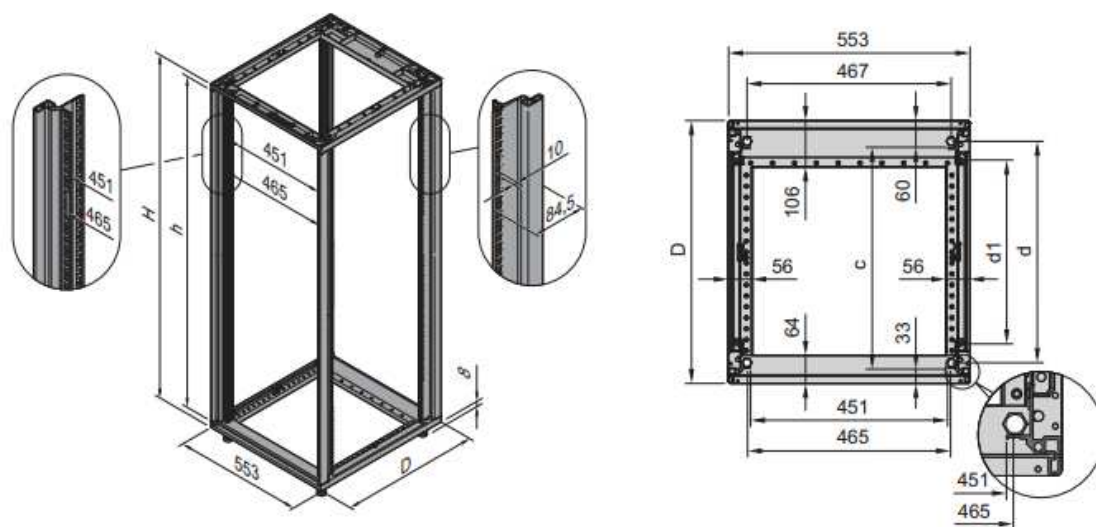
$$h_{min.} = \text{dle největší hloubky daného zařízení} = 425 \text{ mm}$$

Rackový šuplík s hloubkou 500mm byl vybrán až na základě rozměrů vybrané přístrojové skříně, tudíž největší hloubkou disponoval box1 a box2.

S šířkou nemuselo být počítáno, protože se jedná o standardizované zařízení pro montáž do racků 19“.

Výběr přístrojové skříně:

- Vybrána byla přístrojová skříň s řady Novastar 19“ 25U.
- Vnější rozměry: 1167 x 553 x 600 mm a vnitřní rozměry: 1112 x 451 (483) x 507 mm, rozměr 483mm pro uchycení čelních panelů.
- Ocelová konstrukce s nosností až 200kg.
- Přidány boční stěny, přední a zadní strana volná. Přední strana určená pro uchycení čelních panelů jednotlivých zařízení.



U	H mm	h mm
6	357	268
9	456	401
12	589	535
16	767	713
20	945	890
25	1167	1112
34	1567	1513
38	1745	1690
43	1967	1913
47	2145	2090

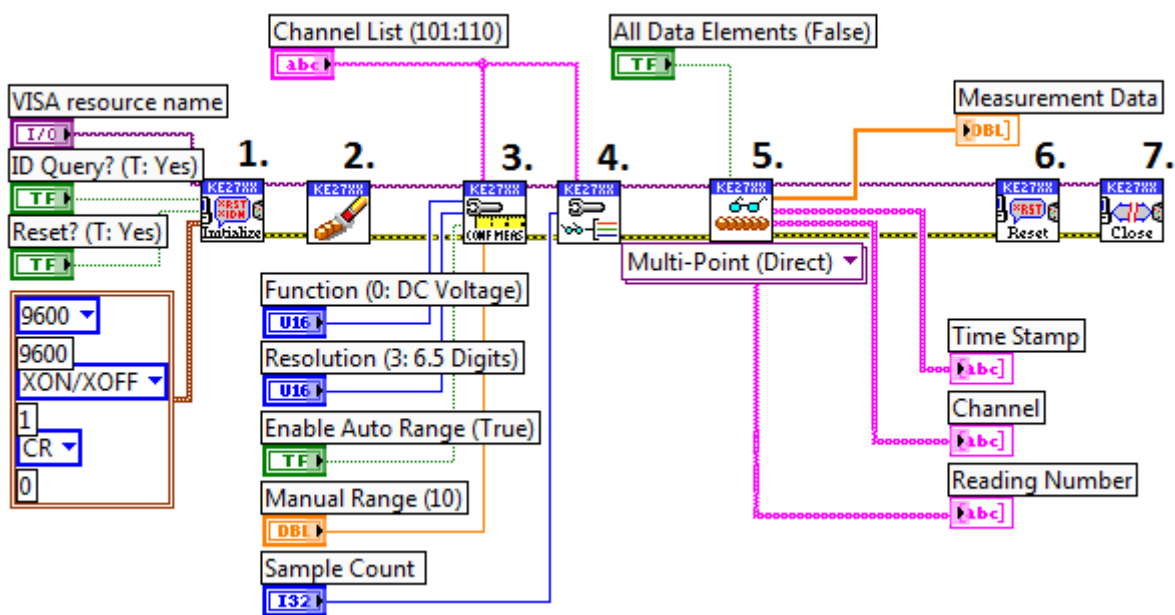
D mm	d mm	c mm	d1 mm
500	387	407	319
600	487	507	419
800	687	707	619

Obrázek 31. Výběr přístrojové skříně a její rozměry.

7 Návrh ovládacího SW v prostředí LabVIEW

7.1 Měření digitálním multimetrem Keithley

Ovládání digitálního multimetru Keithley v LabVIEW lze pomocí vytvořeného přístrojového driveru Keithley 27XX.lvlib. Nastavení přístroje a následné měření je rozděleno v několika krocích. Protože se kód v LabVIEW běžně vykonává z levé části směrem doprava, je tímto způsobem i popsán základní program pro měření s multimetrem Keithley:




Obrázek 32. Program pro ovládání měření digitálního multimetru Keithley.

1. Keithley 27XX.lvlib: Initialize.vi – Inicializační VI, které obstarává počáteční komunikaci s přístrojem. Nutné je tedy nastavení sériové komunikace, pro terminál *VISA resource name* je vybrán COM, pod kterým je Keithley přihlášený v systému Windows. Oba multimetry jsou připojené pomocí jednoho USB kabelu (Převodník na RS232 disponuje rozdvojkou), ovšem v systému se hlásí každý pod svým portem COM.

Nastavené parametry sériové komunikace (stejně parametry musí být nastaveny na obou multimetrech):

- Baud rate – přenosová rychlost 9600 baudů/s (300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 a 19,2k).
- Flow control – řízení toku dat 1:XON/XOFF.
- Termination character – ukončovací znak 0:CR.

Výběr z možností: CR – Carriage return, ukončovací znak .

LF – Line feed, ukončovací znak .

ID Query? – Ověření o jaký model přístroje se jedná MODEL 2700, MODEL 2701 nebo MODEL 2750. Pokud se jedná o jiné ID (jiný model či přístroj), toto VI hlásí chybu a ukončuje komunikaci.

Reset? – Reset přístroje, nové nastavení.

2. Keithley 27XX.lvlib: Clear Data Buffer.vi – Vyčištění bufferu, VI maže datovou vyrovnávací paměť.

3. Keithley 27XX.lvlib: Configure Measurement.vi – konfigurace měření, *Function* – výběr funkce měření z možností: DC napětí, AC napětí, DC proud, AC proud, odpor, čtyřvodičové měření odporu, teplota, frekvence, perioda a kontinuita. *Resolution* – rozlišení měřené veličiny: 3.5 digit, 4.5 digit, 5.5 digit a 6.5 digit (počet zobrazených číslic). *Enable Auto Range* – aktivace automatického rozsahu měření, *Manual Range* – není-li zapnut automatický rozsah měření, lze jej nastavit manuálně.

DCV	– 100mV, 1V, 10V, 100V, 1000V	max. ±1010V
ACV	– 100mV, 1V, 10V, 100V, 750V	max. 757.5V
DCI	– 20mA, 100mA, 1A, 3A	max. ±3.1A
ACI	– 1A, 3A	max. 3.1A
Ω2	– 100Ω, 1kΩ, 10kΩ, 100kΩ, 1MΩ, 10MΩ, 100MΩ	max. 120MΩ
Ω4*	– 100Ω, 1kΩ, 10kΩ, 100kΩ, 1MΩ, 10MΩ, 100MΩ	max. 120MΩ

Sample Count – počet měřených vzorků. *Channel List* – výběr měřicích kanálů. Adresa zadána čísly, příklad adresy jednoho kanálu „203:203“. První číslice značí číslo měřicí karty (slot umístění karty), druhá a třetí číslice označuje číslo kanálu, v tomto případě jde o druhou kartu a konkrétně třetí kanál. Skenování více kanálů v jednom cyklu: „101:140“ první karta a výběr 1-40 ch. Výběr jednotlivých kanálů obou měřicích karet: „102:102,105:105,209:209,240:240“ z první karty vybrány kanály 2, 5 a z druhé karty 9, 40.

4. Keithley 27XX.lvlib: Configure Scan.vi - Konfigurace seznamu měřených kanálů a počtu měřených vzorků. Vstupní terminál *Channel List* dostává stejný příkaz jako u předešlého VI *Configure Measurement*, tyto terminály jsou proto spojené. Je-li *Channel List* prázdný, skenování kanálů není povoleno.

Keithley 27XX.lvlib: Read Multiple Direct.vi – měření definovaných kanálů. *Measurement Data* – vrací hodnoty seřazené v 1D poli nebo lze nastavit mód *Single*, kdy vrací pouze jednu hodnotu. Vstupní terminál *All Data Elements* určuje, zda Keithley vrátí pouze změřené hodnoty nebo i příslušné parametry:



Time Stamp – časový krok od začátku měření. Skenování více kanálů trvá delší časový úsek, tento terminál vrací v 1D poli hodnoty časů, které určují přesný čas, ve kterém byl daný kanál měřen. *Channel* – označení měřených kanálů. *Reading Number* – číslo pořadí, ve kterém byl daný kanál měřen.

6. Keithley 27XX.lvlib: Reset.vi – Resetuje daný přístroj aby mohlo probíhat nové nastavení měření. Reset vykonán až po vrácení změřených hodnot.

7. Keithley 27XX.lvlib: Close.vi – Uzavírá veškerou komunikaci s přístrojem. Pro nové načtení potřeba využít opětovné inicializace a zahájení nové komunikace.

Textové příkazy pro ovládání Keithley s použitím NI VISA Write:

Jedná se o stejný postup, jako je vytvořená aplikace z přístrojových driverů viz. Obrázek 32.

Zahájení a ukončení sériové komunikace není zahrnuto v textových příkazech. Po otevření komunikace lze tedy postupovat zasíláním textových příkazů, datový typ je *string*, každý příkaz musí být zakončen konstantou *line feed*  nebo *carriage return* .

***IDN?** – Zjištění o jaký model přístroje se jedná.

Příklady vráceného ID: KEITHLEY INSTRUMENTS INC.,MODEL 2700
KEITHLEY INSTRUMENTS INC.,MODEL 2701
KEITHLEY INSTRUMENTS INC.,MODEL 2750

:SYST:ERR? – Čtení chyb z fronty.

***RST** – Reset přístroje.

STAT:QUE:CLE – Vymazání zpráv z chybové fronty. Tento příkaz se posílá pokaždé při otevření nového spojení nebo resetu přístroje.

:FUNC "VOLT" , (@101:104) – Zvolení funkce měření DC napětí pro kanály 1-4 měřicí karty 1. Funkce měření: **VOLT** – DC napětí, **VOLT:AC** – AC napětí, **CURR** – DC proud, **CURR:AC** – AC proud, **RES** – měření odporu dvou vodičové, **FRES** – měření odporu čtyřvodičové, **TEMP** – měření teploty, **FREQ** – měření frekvence, **PER** – měření periody, **CONT** – měření kontinuity. Při měření teploty pevně na přístroji nastaveno: měření pomocí termočlánku, typ termočlánku K (lze změnit), jednotka °C a kompenzace studeného konce termočlánku interní.

:VOLT:RANG:AUTO ON , (@101:104) – Zvolení automatického rozsahu měřené veličiny. Manuální nastavení rozsahu: **:VOLT:RANG:AUTO OFF , (@101:104)** a **:VOLT:RANG 10.000000 , (@101:104)**.

:VOLT:DIG 7 , (@101:104) – Nastavení rozlišení měřené veličiny, možnosti: 4, 5, 6 a 7.

ROUT:SCAN (@101:104) – Definice měřících kanálů, které mají být skenované.

ROUT:SCAN:LSEL INT – Povolení skenování.

SAMP:COUN 4 – Počet měřených vzorků.

FORM:ELEM READ – definice vrácení pouze změřených hodnot

;READ? – Spuštění měření a vrácení změřených hodnot.

nebo

FORM:ELEM READ,CHAN,TST,RNUM – Určení více elementů, které budou vráceny společně s měřením – změřená hodnota, číslo kanálu, čas měření daného vzorku a pořadové číslo měřeného vzorku.

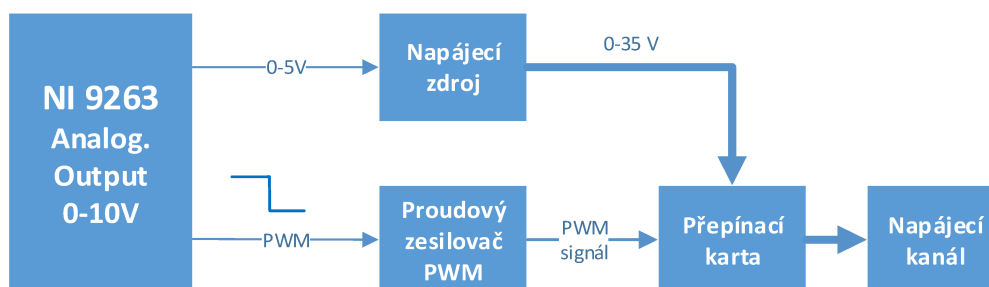
;READ?

Ukončení komunikace pomocí VISA Close.

7.2 Analogová výstupní karta NI 9263 – Ovládání zdroje Delta a tvorba PWM signálu

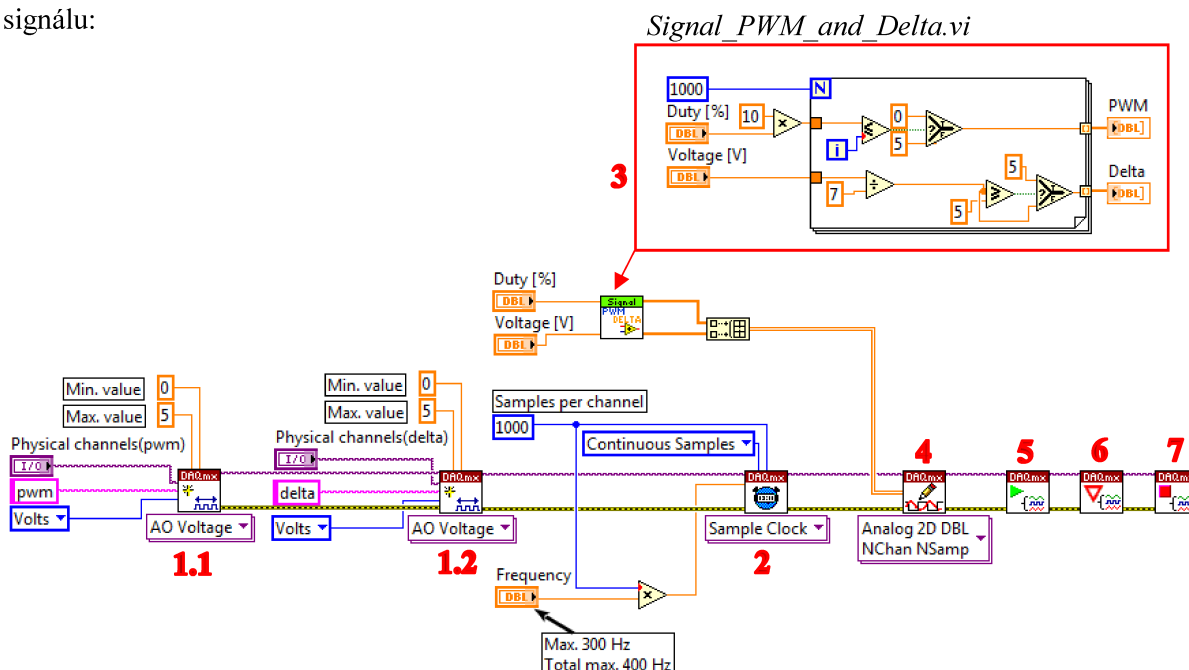
Použitá výstupní analogová karta NI 9263 plní funkci ovládání napěťového zdroje Delta a vytváření řídicího signálu PWM. Analogové ovládání zdroje Delta již bylo vysvětleno, kdy je zapotřebí přivést napětí v rozsahu 0-5V pro ovládání napájecího napětí 0-35V.

Napěťové úrovně PWM signálu zvoleny 0V log.0 a 5V log.1, úroveň napětí může být v plném rozsahu 10V, protože vytvořený PWM signál spíná v bloku „Proudový zesilovač PWM“ unipolární tranzistory, pro které je možné řídicí napětí až 15V.



Obrázek 33. Blokové schéma použití výstupní analogové karty NI 9263.

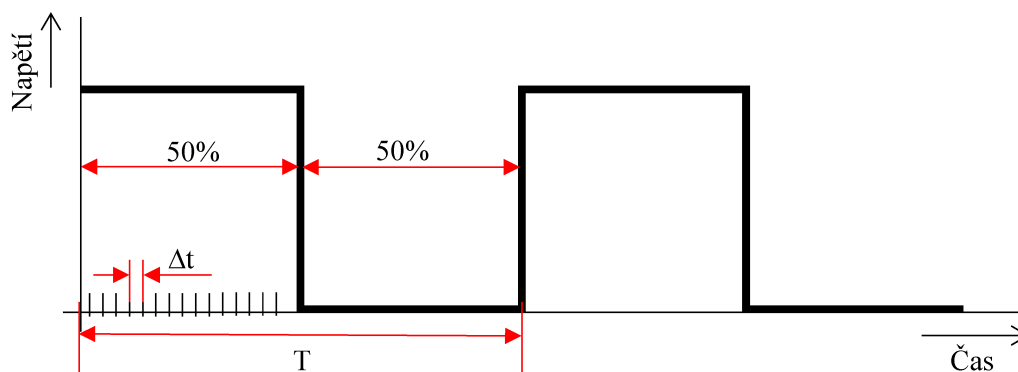
Základní program vytvořený v LabVIEW pro ovládání zdroje Delta a generování jedné periody PWM signálu:



Obrázek 34. Program pro ovládání zdroje Delta a vytvoření řídicího signálu PWM.

- 1) Výběr kanálů analogové výstupní karty a určení rozsahu generovaného napětí.
- 2) Nastavení časování a velikost bufferu – buffer pevně stanoven 1000 vzorků na jeden kanál, vzorkovací frekvence *rate* vypočtena na základě zvolené frekvence PWM signálu.

Určení výstupní vzorkovací frekvence PWM signálu:



Obrázek 35. Generovaný PWM signál.

Střída 50% (není pevně stanovena, lze ji nastavovat v rozsahu 0-100%).

T – perioda PWM signálu.

Δt – perioda vzorkování.

rate – vzorkovací frekvence výstupního signálu ($1/\Delta t$), která určuje výslednou periodu generovaného průběhu. Pro výpočet platí vztah: $rate = \text{počet vzorků} \times \text{požadovaná frekvence signálu}$.

Perioda PWM signálu = počet vzorků (1000) $\times \Delta t$.

Maximální vzorkovací frekvence analogové karty NI 9263 je 400 kHz, to při pevném stanovení počtu 1000 vzorků na jednu periodu dává ve výsledku maximální možnou nastavovanou frekvenci PWM signálu 400 Hz.

3) Vytvoření PWM signálu na základě zvolené střidy, velikost průběhu je 1000 bodů na jednu periodu generovaného signálu.

Požadované výstupní napětí zdroje Delta je zde přepočteno vztahem $U_{\text{ovládání}} = U_{\text{požadované}}/7$, což je potřebné ovládací napětí (ovládání napětí zdroje 0-5V, poskytované napětí zdroje 0-35V).

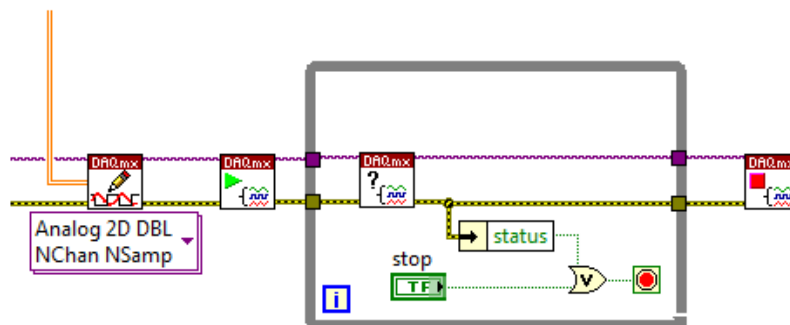
4) Zápis vytvořeného průběhu do bufferu.

5) Spuštění generování průběhu.

6) Počkání dokud není úloha (Task) dokončena, tedy až je celý průběh z bufferu vygenerován.

7) Zastavení generování.

Pro kontinuální generování PWM signálu, zapotřebí aby nebylo zastaveno generování průběhu. To lze vložením smyčky while za blok, který spouští generování průběhu uloženého v bufferu.



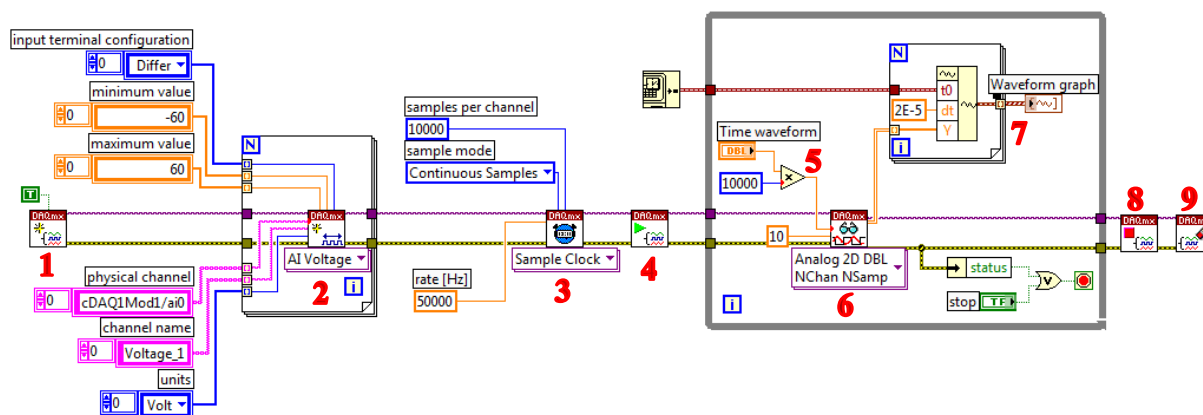
Obrázek 36. Kontinuální generování průběhu.

Počáteční nastavení kanálů a časování zůstává stejné.

7.3 Analogová vstupní karta NI 9229 – Kontinuální měření napětí

Pomocí kontinuálního měření napětí, lze vidět měřený průběh stejně jako na osciloskopu. Je tedy umožněno analyzovat změřené průběhy napětí na rozdíl od multimetru Keithley, který vrací pouze jednu RMS hodnotu měřeného DC napětí. Nevýhoda je ovšem ve velkém objemu změřených dat, které jsou připravena pro zpracování. Použití tohoto měření pouze pro časově velice krátké testy.

Použitím karty NI 9229 lze měřit napětí v rozsahu $\pm 60V$. Vytvořený kód v LabVIEW proveden pomocí využití ovladače NI-DAQmx:



Obrázek 37. Kontinuální měření napětí bez ukládání dat do souboru.

- 1) Vytvoření úlohy (Task), ve které jsou definované měřicí kanály, časování a sběr dat.
- 2) Definování měřicích kanálů, zvolení rozsahu všech kanálů $\pm 60V$, typ zapojení diferenciální (kanály s oddělenou zemí), názvy kanálů a jednotka měřené veličiny volt. Aby nemusel být každý kanál nastavován samostatně, je pomocí smyčky FOR definováno všech 8 kanálů.
- 3) Nastavení časování – vzorkovací frekvence 50kHz a velikost bufferu – 10 tisíc vzorků pro každý kanál. Zvolený kontinuální mód pro neustálé vzorkování signálu.
- 4) Spuštění vzorkování měřeného signálu, měřené hodnoty se začnou ukládat do paměti počítače.

5) Zvolení počtu vzorků, které budou vyčteny z bufferu počítače.

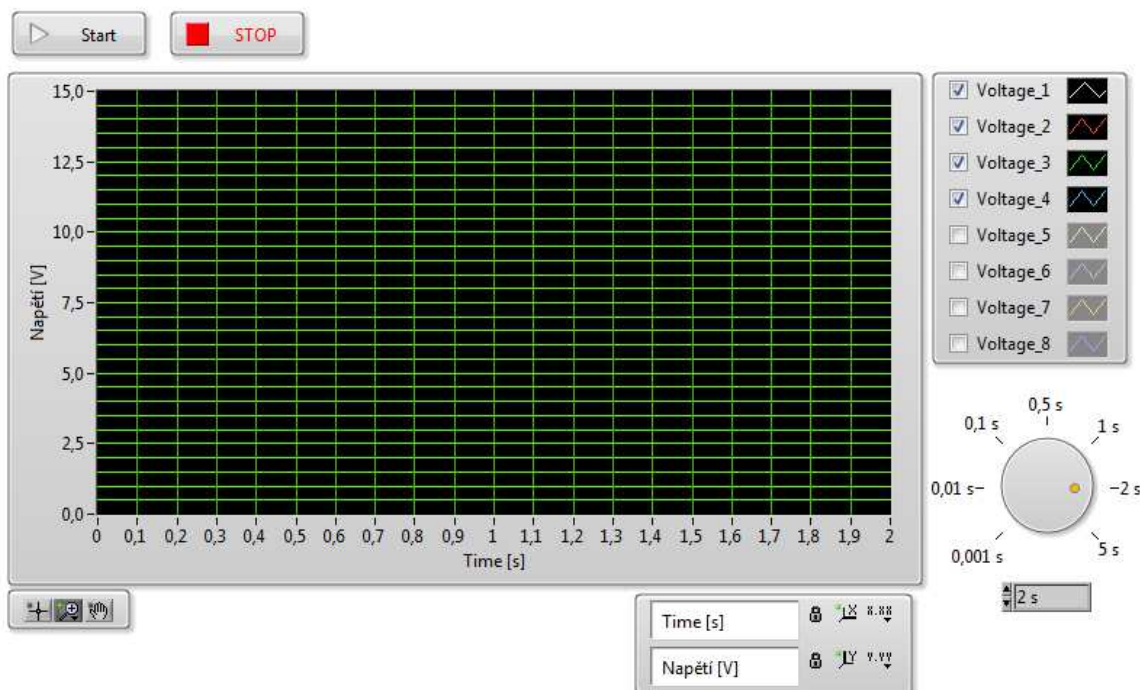
6) Vyčtení změřených hodnot z bufferu počítače. Až dosáhne bufferu počítače definovaného počtu vzorků, jsou tyto vzorky vyčteny a funkce opět čeká, až bude buffer naplněn.

Jelikož je známa vzorkovací frekvence, lze definováním počtu vzorků, které mají být vyčteny ovlivnit, jak časově dlouhý průběh má být zobrazen v grafu.

7) Zobrazení měřených hodnot v grafu. Změřený průběh je předen do datového typu *waveform*, který nese prvky: t_0 , dt a pole numerických hodnot. (t_0 – start time, $dt = 1/f_{vz}$)

8) Zastavení vzorkování signálu.

9) Ukončení úlohy (*Task*).



Obrázek 38. Zobrazení měřeného průběhu v grafu.

Nastavení časové délky měřeného průběhu:

Vzorkovací frekvence 50kHz, perioda vzorkování je tedy 0,00002s.

Pro vyčítání průběh časové délky např. 0,5s je tedy zapotřebí $0,5/0,00002 = 25\,000$ vzorků.

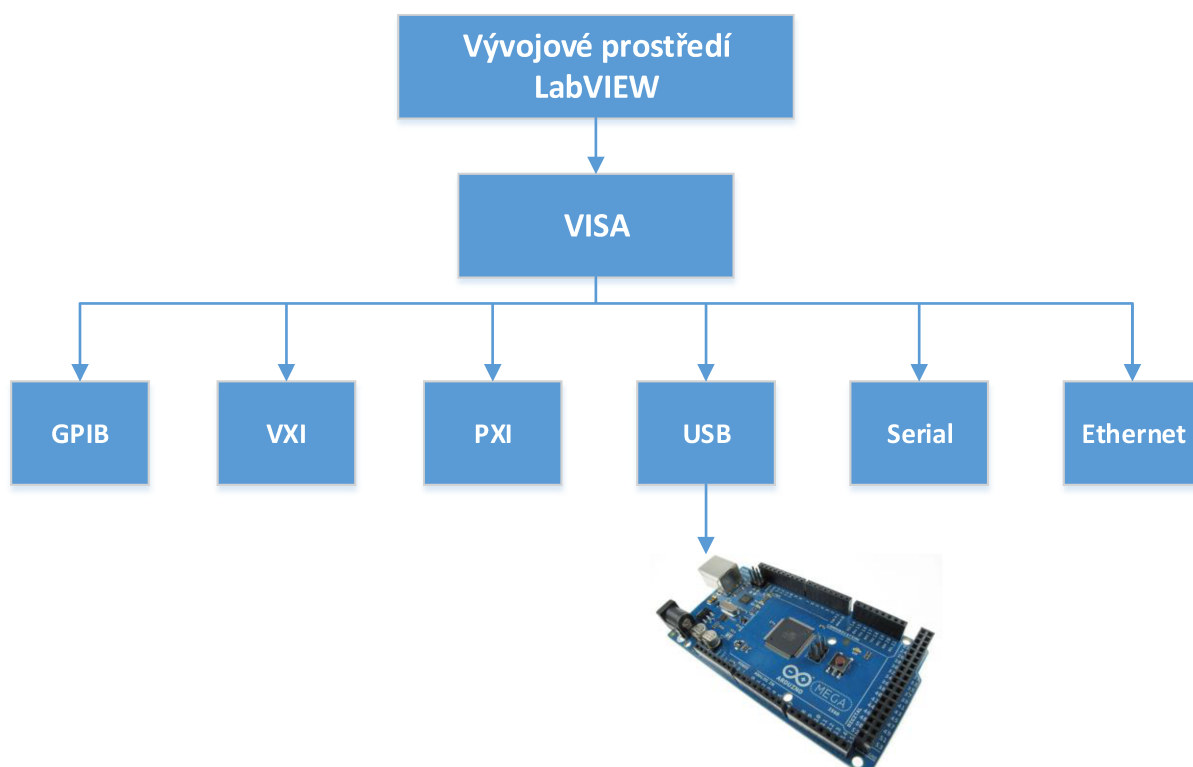
7.4 Arduino – Ovládání napájecích kanálů

Arduino MEGA ovládání v LabVIEW - nastavení napájecích kanálů TS

Arduino Mega se lehce připojuje k PC pomocí USB rozhraní a automaticky se přihlásí pod některý z volných sériových portů COM. Číslo portu může být např. jako v projektu COM9, a protože jsou využity dvě vývojové desky Arduina, tak druhý port je s označením COM10. Veškeré typy desek Arduina jsou tzv. „open-source“, což v tomto případě znamená absolutní volnost při stahování schémat desek, zdrojových kódů, vývojové prostředí IDE atd. Vzniká tedy celá řada klonů, které jsou totožné s originálem, ale z důvodu snížení ceny nahrazují původní USB převodník ATMEGA8U2-MU za levnější čip CH340/CH341. Driver pro tento čip není součástí operačního systému Windows a je nutné jej doinstalovat. Driver se nachází v elektronické příloze ve složce „Drivers/CH340_CH341...“. Pokud instalace proběhne správně, lze nalézt připojené Arduino v PC „Ovládací panely/Správce zařízení/Porty (COM a LPT)“.

Na internetu lze stáhnout přímo vytvořené ovladače pro vývojové prostředí LabVIEW + napsaný kód v prostředí IDE, který je nutno do Arduina nahrát aby kontrolér dokázal zpracovat příkazy z LabVIEW. Ovšem pokud je zapotřebí využít 48 dig. kanálů nelze tyto ovladače použít a proto je vytvořen vlastní přístrojový ovladač s komponent VISA, který ovládá pouze potřebné dig. kanály Arduina.

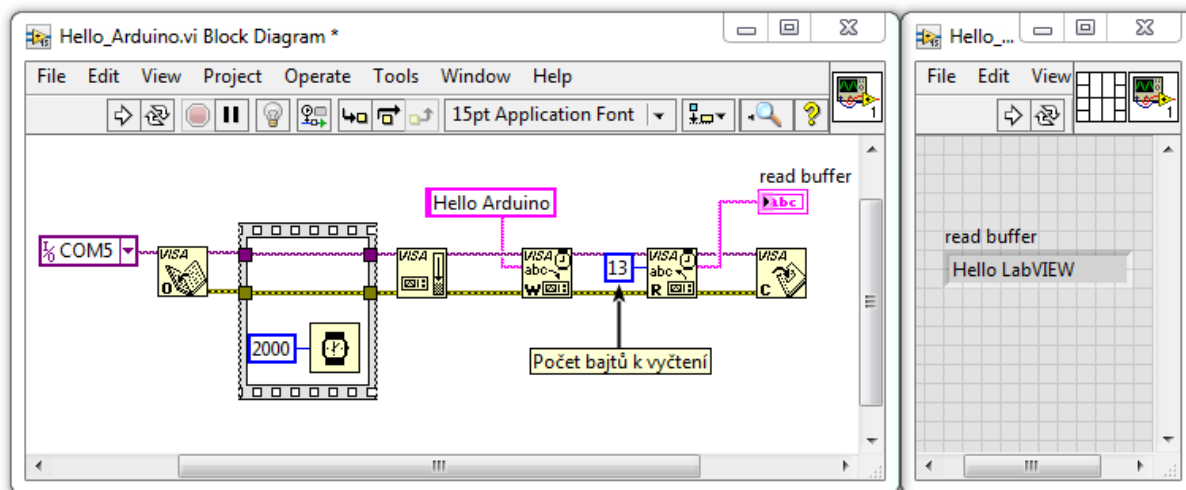
LabVIEW disponuje NI-VISA se softwarovými knihovnami, které samy řeší jednotlivé rozhraní, programátor používá pouze VISA komponenty.



Obrázek 39. VISA architektura s připojeným Arduinem.

Základní komunikace mezi LabVIEW a Arduinem:

Vytvořený program na obrázku níže je pouze pro ukázkou základní komunikace s Arduinem. Z LabVIEW je poslán pozdrav „Hello Arduino“ a to nám odpoví na oplátku „Hello LabVIEW“.



Obrázek 40. Základní program v LabVIEW pro komunikaci s Arduinem.

VISA Open zahajuje komunikaci s Arduinem připojeném přes USB pod portem COM5. Při každém zahájení komunikace se Arduino automaticky resetuje a je nutné chvíli počkat, než bude připraveno. Resetování nelze ovlivnit, provede se pokaždé, proto je dobré mít komunikaci při složitějším použití stále otevřenou a ukončovat ji až při skončení programu. Kvůli zmíněnému resetu musí LabVIEW počkat, v programu je 2000ms, ale ve skutečnosti lze použít kratší dobu. Dále se provede vyčištění bufferu a pošle Arduino zprávu „Hello Arduino“. Naprogramované Arduino odpoví zprávou „Hello LabVIEW“, tato odpověď má délku 13 bajtů, které je potřeba vyčíst z bufferu. Kdyby byla zvolena konstanta např. 10, vyčetl by se text pouze „Hello LabV“. Pozor, mezera se samozřejmě počítá také jako znak.

Základní program napsaný pro Arduino v prostředí IDE:

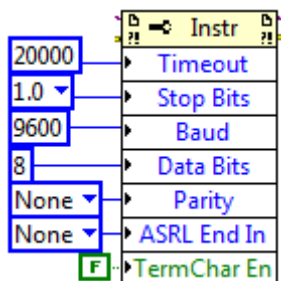
Kód v prostředí IDE, který je nutné nahrát do Arduina lze nalézt v elektronické příloze *Arduino a LabVIEW/Hello_LabVIEW.ino*.

Sériová komunikace – rychlost při komunikaci s PC lze zvolit (300, 600, 1200, 2400, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 a 115200 baudů). Sériová komunikace musí být stejně jako v LabVIEW zahájena také v Arduinu příkazem *Serial.begin(rychlost)*. Tato funkce se volá v části *Setup* – provádí se pouze jednou při startu kontroléru. Příkazem *Serial.read()* jsou vyčítána data uložená bufferu, který dokáže uchovat až 64 bajtů. Čtení probíhá tak, že se vezme první byte z bufferu, zpracuje se procesorem, jeho místo se uvolní a uchované bajty se posunou dopředu. Poté se vezme další bajt, zpracuje se atd. Velice důležitá funkce je *Serial.available()*, která vrací počet bajtů v bufferu. Používá se jako podmínka, kdy má Arduino začít vyčítat data z bufferu. Je-li buffer prázdný, funkce vrací nulovou hodnotu a nemá smysl volat funkci pro čtení.

Popis vytvořené knihovny pro ovládání digitálních kanálů Arduina MEGA

Vytvořené VIs lze dohledat v elektronické příloze *Arduino a LabVIEW/Arduino MEGA VIs*.

Initialize.vi – namísto použití funkce VISA Open, která okamžitě zahájí komunikaci s Arduinem, použito detailnější nastavení sériové komunikace pomocí VISA Property Node.

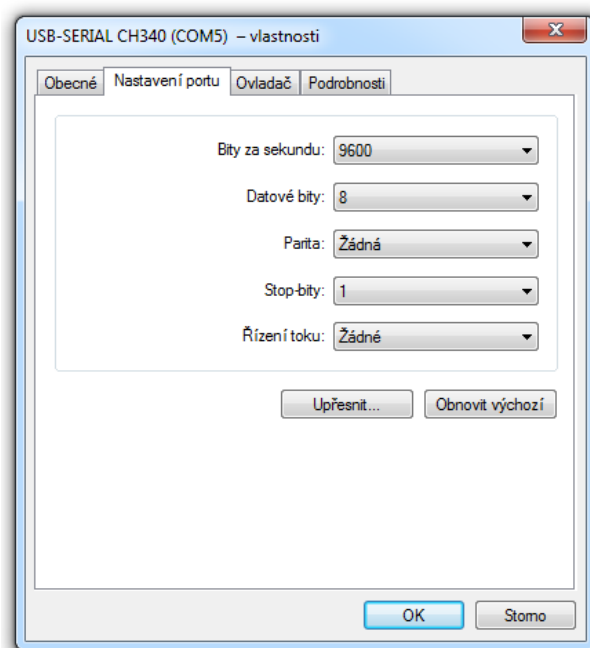


Timeout – čas, do kterého musí být zahájena komunikace, v opačném případě vrací funkce chybu. Nastavená hodnota je v milisekundách.

Nejvýznamnějším nastavením je přenosová rychlost 9600 baudů, která musí být stejně nastavená jak na straně LabVIEW, tak v počáteční inicializaci Arduina (funkce *Serial.begin(9600)*).

Jedná se o základní nastavení sériové komunikace, která je stejně nastavená pro daný port v systému Windows viz. Obrázek 41.

Nastavení daného portu lze dohledat v *Ovládací panelu/Správce zařízení/Porty (COM a LPT)* a kliknutím pravého tlačítka na daný COM zvolit *vlastnosti*.



Obrázek 41. Nastavení portu COM v systému Windows.

Popis kódu – jako první se vykoná nastavení sériové komunikace pomocí VISA Property Node, po úspěšném navázání komunikace nastavena časová prodleva 1s z důvodu resetu Arduina, které tak činí při každém novém zahájení sériové komunikace. Nenaváže-li LabVIEW žádné spojení, vyčistí buffer a uzavře komunikaci. Poté se pokusí znovu navázat spojení, podmínka smyčky *WHILE* definuje maximálně tři další opakovatelné pokusy o zahájení komunikace. Dojde-li k úspěšnému zahájení komunikace, použitím funkce VISA Flush Buffer vyčistí buffer a funkcí VISA Write pošle Arduinu počáteční řetězec „s0110011001100110011001100110011001100110011001100110011001100110s“, který nastaví výstupní digitální kanály Arduina do kombinace pro přepínací kartu, tak aby byly všechny napájecí kanály vypnuté. Přijatou zprávu Arduino posílá zpátky, aby mohlo dojít k porovnání odeslané a přijaté zprávy a tedy případnou detekci chyby přenosu všech dat. Pokud proběhla tato počáteční inicializace v pořádku výstupem z subVI je terminál „Synch.“, který indikuje *TRUE* – zahájena komunikace, v opačném případě *FALSE* – chyba, komunikace nezahájena.

Set_dig_pin.vi – toto VI pošle pole hodnot, které ovládá 48 digitálních kanálů Arduino. Vstupem VI je pole datového typu *boolean*, které musí mít velikost 48 bitů. Každý bit reprezentuje jeden digitální kanál. Pokud je pole menší, jsou bity doplněny hodnotou *FALSE*. Je zapotřebí, aby bylo posláno vždy pole o hodnotě 48 znaků plus dva kontrolní, jeden na začátku („s“) a jeden na konci („s“). Datový typ *boolean* je převeden do *stringu*, aby bylo možné zprávu pomocí VISA Write poslat. Ověřením komunikace LabVIEW opět obdrží zprávu od Arduino pro porovnání poslané zprávy.

Close.vi - uzavření komunikace.

Kód pro Arduino vytvořený v prostředí IDE *Arduino a LabVIEW/48_dig_pins.ino*.

Příklady nastavení dig. pinů Arduino pro nastavení 4 funkcí napájecích kanálů:

Všechny napájecí kanály vypnuty: „s011001100110011001100110011001100110011001100110011001100110s“

Všechny napájecí kanály zapnuty: „s00s“

Všechny napájecí kanály PWM: „s11s“

Všechny napájecí kanály blinkr: „s100110011001100110011001100110011001100110011001100110011001s“

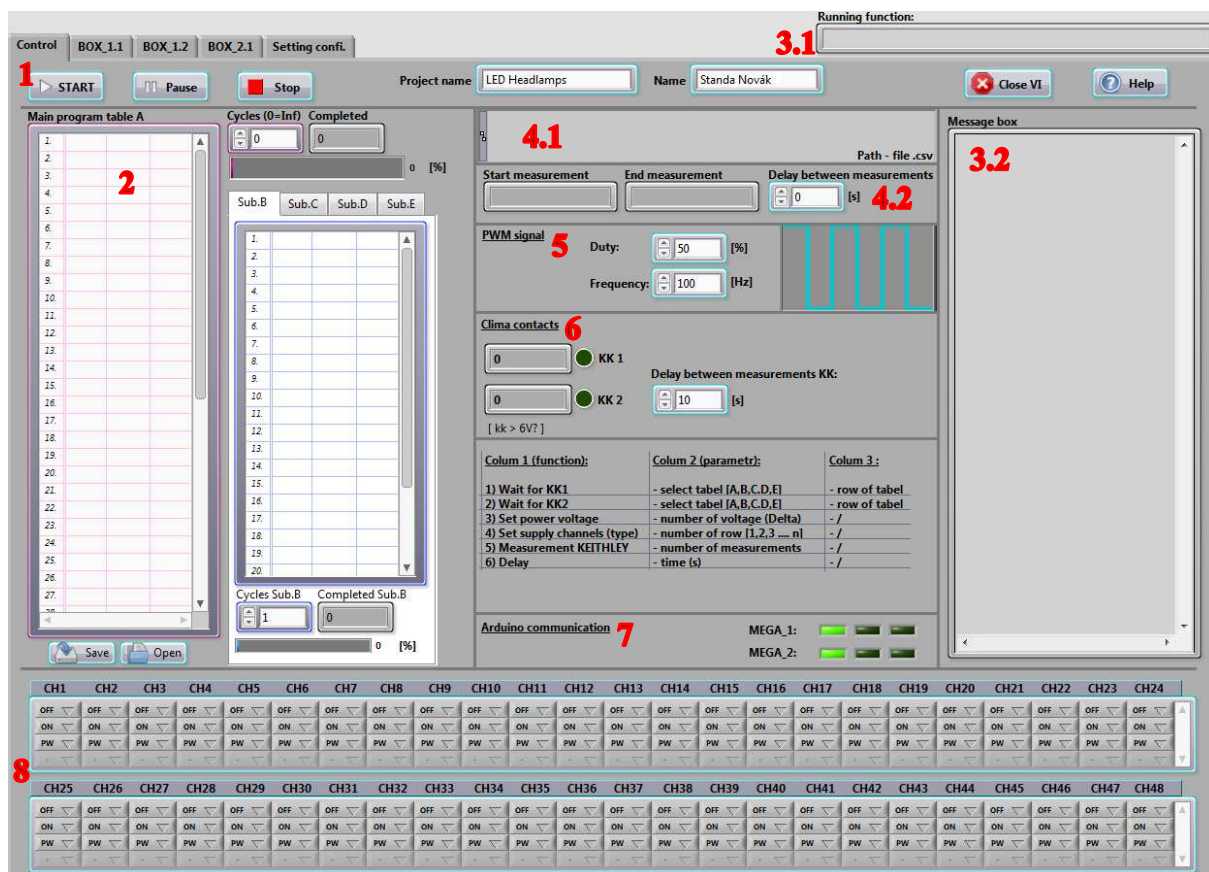
Nastavení jednotlivých dig. kanálů Arduino pro zvolení funkce daného napájecího kanálu je celkem komplikovaná kombinace, ovšem z tabulky v Příloha 4 lze dohledat, které piny Arduino mají být pro danou funkci nastaveny.

7.5 Výsledná aplikace

Uživatelské rozhraní vytvořené výsledné aplikace bylo navrženo pro ovládání všech funkcí TS, kromě kontinuálního měření napětí. Způsob ovládání je založen na řídicí tabulce, do které jsou vloženy dané operace k vykonání. Program je potom vykonáván sekvenčně po řádcích tabulky shora směrem dolů.

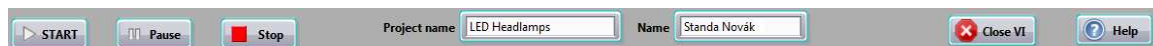
Z důvodu velkého počtu ovládacích a indikačních prvků je aplikace rozdělena do více záložek - *Control*, *BOX_1.1*, *BOX_1.2*, *BOX_2.2*, *Setting confi*.

Záložka Control



Obrázek 42. Hlavní ovládací záložka vytvořené aplikace TS

1) Hlavní ovládací prvky



Obrázek 43. Hlavní ovládací prvky vytvořené aplikace.

START tlačítko – Spouští vykonávání řídicí tabulky (2), tedy sekvenci operací.

Pause tlačítko – Slouží k pozastavení programu, ihned po použití je program pozastaven, pouze při měření multimetrem Keithley se nejprve měření vždy dokončí pro všechny kanály a poté je program pozastaven.

Stop tlačítko – Vypíná řídicí program, i případě není-li dokončen celý řídicí program.

Close VI tlačítko – Okamžité uzavření aplikace.

Help tlačítko – Návod, která nabízí popis řídicích a indikačních prvků vytvořené aplikace a popis použití ovládací tabulky.

Project name – Kolonka pro název měřeného projektu. Název a hlavička všech ukládaných souborů potom nese jméno projektu. To samé platí pro kolonku **Name**, do které se vypisuje jméno uživatele, který právě používá TS.

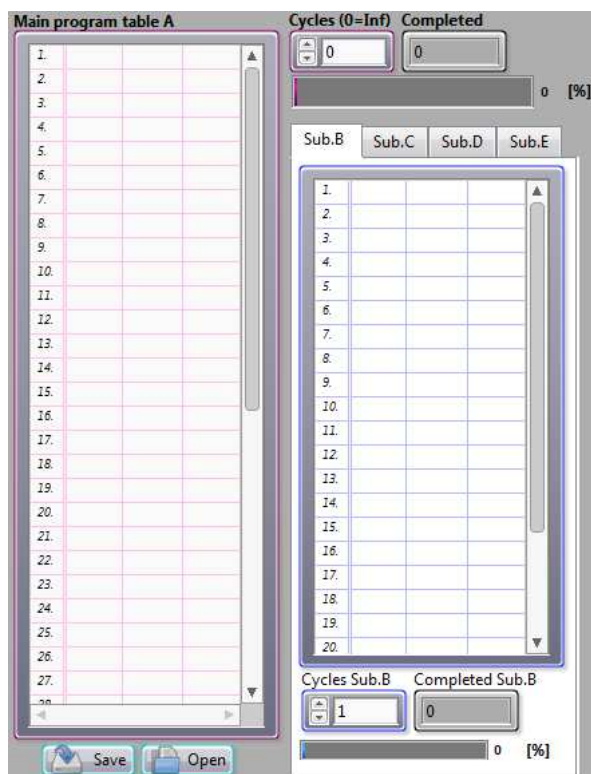
2) Řídící tabulky – Nastavení sekvence vykonávaných operací.

Ovládání běhu programu pomocí tabulek je rozděleno na jednu hlavní řídicí tabulku *Main program table A* a čtyři vedlejší tabulky (podprogramy) *Sub.B*, *Sub.C*, *Sub.D* a *Sub.E*.

V prvním sloupci je vybírána funkce k vykonání, ve druhém sloupci se vkládá její parametr a třetí sloupec slouží pouze pro funkci měření klima kontaktu, kde se používá případně druhý parametr funkce (není podmínkou).

Výběr funkce se provádí čísly 1 až 6.

- 1 – Měření prvního klima kontaktu (KK1).
- 2 – Měření druhého klima kontaktu (KK2).
- 3 – Nastavení napětí na zdroji Delta, parametr velikost napětí [V].
- 4 – Nastavení napájecích kanálů, parametr řádek z nastavené tabulky Obrázek 50.
- 5 – Měření multimetrem Keithley, parametr počet cyklů měření.
- 6 – Zpoždění, pozastavení programu, parametr čas [s].



1. sloupec

2. sloupec

3. sloupec

Column 1 (function):	Column 2 (parametr):	Column 3 :
1) Wait for KK1	- select tabel [A,B,C,D,E]	- row of tabel
2) Wait for KK2	- select tabel [A,B,C,D,E]	- row of tabel
3) Set power voltage	- number of voltage (Delta)	- /
4) Set supply channels (type)	- number of row [1,2,3 n]	- /
5) Measurement KEITHLEY	- number of measurements	- /
6) Delay	- time (s)	- /

Obrázek 44. Řídící tabulky vytvořené aplikace.

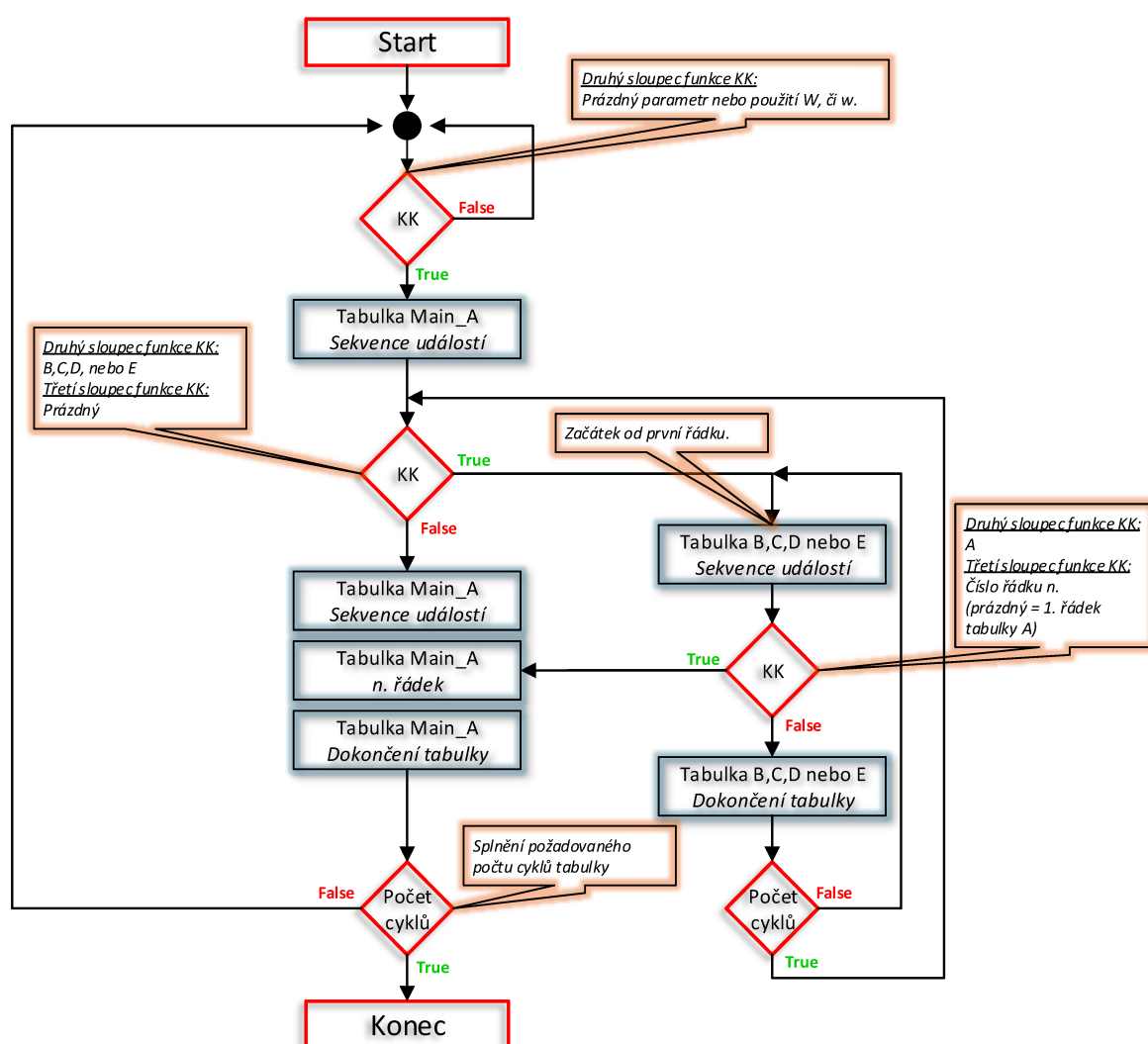
Podmínka vykonání programu nebo skok do podprogramu je realizováno pomocí měření klima kontaktu (KK). Popis použití:

- Měřicí stánek disponuje dvěma nezávislými KK.
- Měří se napětí, které je při sepnutí KK větší než 6V.
- Použití v tabulce lze čísli 1 - KK1 nebo 2 - KK2. (první sloupec)

Pokud zůstává druhý sloupec této funkce prázdný nebo bude vyplněný W či malé w ("wait"), znamená to, že program čeká, až bude KK sepnutý a potom pokračuje na další řádek. [*TRUE* - pokračuje, *FALSE* – čeká].

Další možnost je zvolení podprogramu, či skákat v tabulce na libovolný řádek. Ve druhém sloupci se zvolí tabulka s označením (A,B,C,D,E nebo malými písmeny a,b,c,d,e), ve které má program pokračovat. Lze také přidat do třetího sloupce číslo řádku, od kterého bude pokračovat. [*TRUE* - skáče, *FALSE* - pokračuje]

Skočí-li program do některé vedlejší tabulky B,C,D,E, provede se požadovaný počet cyklů a po dokončení se vrací na stejný řádek hlavní tabulky, ve které byla podmínka. Tímto způsobem lze program zacyklit, nezmění-li se stav KK, je tedy lepší používat podmínky také ve vedlejších tabulkách se skokem na konkrétní číslo řádku tabulky.



Obrázek 45. Blokový diagram možnosti použití podmínky klima kontaktu.

Cycles (0=Inf) – Počet cyklů hlavní řídicí tabulky *Main A*. Nastavená hodnota na nulu znamená nekonečno cyklů k vykonání, program se zastavuje tlačítkem *Stop*.

Completed – Počet vykonaných cyklů. Progress Bar potom znázorňuje procentuální dokončení požadovaného počtu cyklů k vykonání.

Cycles Sub.B(C,D,E) – Počet cyklů vedlejších tabulek, podprogramů.

Completed Sub.B(C,D,E) – Počet vykonaných cyklů vedlejších tabulek, podprogramů.

Save tlačítko – Ukládání vyplněné tabulky do CSV souboru.

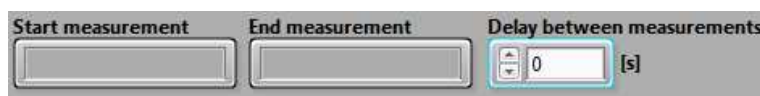
Open tlačítko – Načtení vyplněného souboru do řídicích tabulek.

3.1) Running function – Zobrazení vykonávané funkce dané řídicí tabulky. První je název tabulky, ve které se program nachází a poté vykonávaná funkce. V tabulce je daný řádek probíhající funkce zvýrazněný ovšem tento indikátor je umístěn nad záložky, takže lze vidět běh programu i z jiných záložek.

3.2) Message box – Zobrazení všech vykonaných operací SW. V jednom řádku je vždy datum, čas, název řídicí tabulky a vykonaná funkce. V boxu je také ukládána zpráva o každé komunikaci s Arduinem.

4.1) Path - file.csv – Indikátor, který ukazuje cestu souboru s uloženými změřenými daty. Soubor typu .csv je vytvořen až po prvním měření.

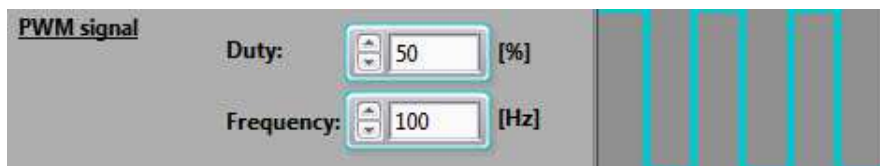
4.2) Start measurement – Datum a čas, kdy proběhlo první měření. *End measurement* – Datum a čas, kdy proběhlo poslední měření.



Obrázek 46. Začátek a konec měření, zpoždění mezi cykly měření.

Delay between measurements – Časové zpoždění mezi jednotlivými cykly měření. Jeden cyklus měření provede měření všech zvolených kanálů, pokud je nastavené časové zpoždění např. 60s a počet měření bude nastaven na 3, tak je po každém cyklu měření časová pauza 1minuta a poté se provádí další cyklus měření.

5) PWM signal – nastavení parametrů PWM signálu, po spuštění tlačítka *START* nelze měnit nastavení.



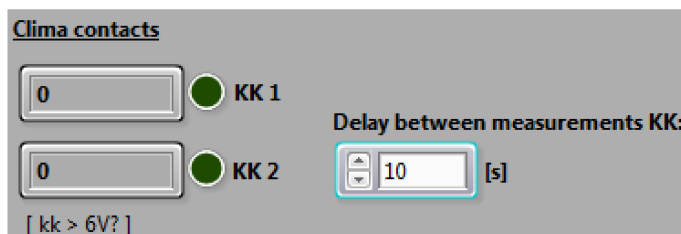
Obrázek 47. Nastavení PWM signálu vytvořené aplikace.

Duty: nastavení střídy 0-100% s minimálním krokem 0,1.

Frequency: nastavení frekvence 1-300Hz s minimálním krokem 0,1.

Indikační prvek, který zobrazuje nastavený PWM signál (modrý průběh), slouží pro uživatele, aby bylo jasné zřejmé, jaký signál má právě nastavený. Z průběhu lze poznat pouze střidu, to je ale nejdůležitější parametr při nastavování.

6) *Clima contacts*



Obrázek 48. Indikace změřených hodnot klima kontaktů.

Zobrazení změřeného napětí na klima kontaktu a jeho vyhodnocení. Pokud je naměřeno napětí větší než 6V, je vyhodnocen KK jako sepnutý a indikační dioda je rozsvícena světle zelenou barvou. Aplikace umožňuje měření dvou klima kontaktů *KK1* a *KK2*.

Delay between measurements KK – Časové zpoždění mezi cykly měření. Pro oba kontakty probíhá měření současně a poté dochází k časové pauze. Pokud program čeká, až bude některý kontakt sepnutý, měření se provádí neustále dokola.

7) *Arduino communication*



Obrázek 49. Kontrola komunikace mezi Arduinem a LabVIEW.

Kontrolní indikační prvky, které značí správnou komunikaci Arduina s LabVIEW.

1. Sloupec značí počáteční inicializaci, kdy dojde k nastavení digitálních kanálů Arduina, tak aby byly napájecí kanály vypnuté.
2. Sloupec kontroluje, zda je posílané pole bitů správné velikosti [48]. Program tuto velikost pole zajišťuje sám. Jednotlivé bity potom nastavují 48 digitálních kanálů Arduina.
3. Sloupec kontroluje přenos požadavku pro nastavení dig. kanálů. Indikuje doručení celé zprávy.

8) Výběr napájecího signálu

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	...	CH24
1. řádek	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF		OFF
2. řádek	ON	ON	ON	ON	ON	ON		ON
3. řádek	PW	PW	PW	PW	PW	PW		PW
n. řádek	-	-	-	-	-	-		-

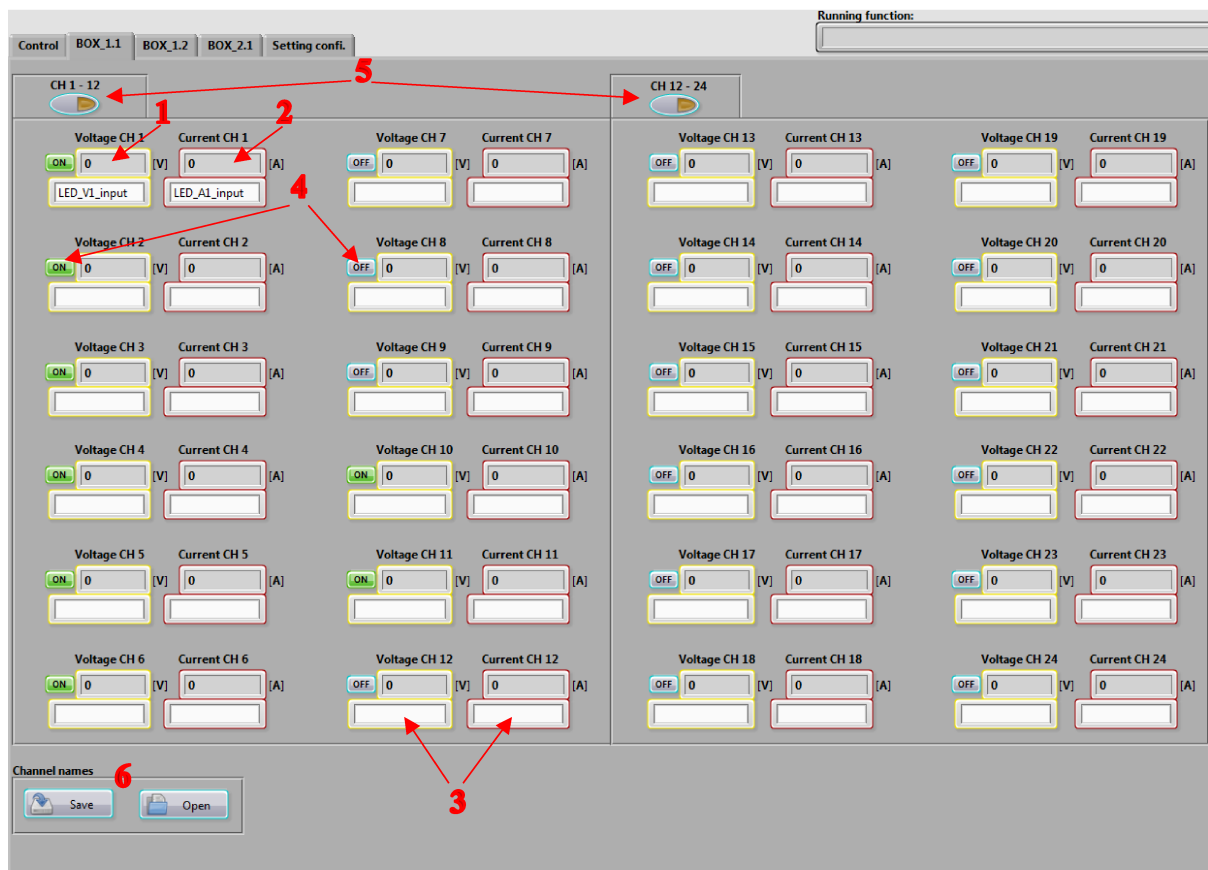
	CH25	CH26	CH27	CH28	CH29	CH30	...	CH48
1. řádek	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF		OFF
2. řádek	ON	ON	ON	ON	ON	ON		ON
3. řádek	PW	PW	PW	PW	PW	PW		PW
n. řádek	-	-	-	-	-	-		-

Obrázek 50. Nastavovací tabulka napájecích kanálů.

Pro každý napájecí kanál lze vybrat daný typ signálu. Možnosti výběru: OFF – kanál je vypnutý, ON – kanál je zapnutý, přímé napětí napájecího zdroje, PWM – nastavený pwm signál je přiveden na výstup napájecího kanálu, DI – blinkr signál 1,5 Hz 60% je přiveden na výstup napájecího kanálu. V řídicí tabulce je pokaždé vybráno číslo řádku, podle kterého jsou napájecí kanály nastaveny. Nastavení daného řádku lze libovolně kombinovat pro každý napájecí kanál. Z důvodu velkého počtu napájecích kanálů je nastavení všech 48 kanálů rozděleno do dvou tabulek.

Záložka BOX 1.1 a BOX 1.2

Zobrazení změřených hodnot vstupních napětí a proudů. Počet kanálů 48 pro napětí a 48 pro proudy. Obě záložky jsou totožné, první záložka obsahuje prvních 24 napěťových a proudových kanálů, druhá pak zbylé kanály 25 až 48.



Obrázek 51. Zobrazení hodnot měřených kanálů napětí a proudů CH 1-24.

- 1) Zobrazovací prvek měřeného napětí.
- 2) Zobrazovací prvek měřeného proudu.
- 3) Kolonky pro název měřeného kanálu, název je uložen v hlavičce souboru s měřenými daty. Slouží pro identifikaci daného kanálu. Pokud není název vyplněn, zůstává pro daný kanál standardní název – napěťový kanál „Volt. ch x“ a proudový kanál „Curr. ch x“.
- 4) Spínací prvek, který určuje, zdali daný kanál bude měřen nebo zůstane vypnutý. *OFF* – kanál nebude měřen, *ON* – kanál bude měřen. Jednotlivé kanály lze zapínat a vypínat i během měření, nebude tím ovlivněno uspořádání měřených dat při ukládání do souboru.
- 5) Spínací prvek, který zapíná více kanálů na jedno stisknutí. Slouží především, aby uživatel nemusel zapínat každý kanál samostatně. Po sepnutí se nastaví dané kanály do pozice *ON* a tento spínací prvek se opět vrací do původní polohy.
- 6) *Channel names* – ovládacím prvkem *Save* lze uložit vypsané názvy do souboru a prvkem *Open* je opětovně načíst. Uživateli toto načtení již uložených názvů kanálů usnadňuje práci při pozdějším opětovném použití na stejném měřeném projektu. Tlačítka jsou paralelně spojena v záložkách *BOX_1.1*, *BOX_1.2* a *BOX_2.1*. Použitím jednoho prvku jsou názvy kanálů uloženy nebo načteny pro všechny záložky.

Záložka BOX 2.1

Poslední zobrazovací záložka změřených hodnot obsahuje 24 přídavných proudů, 24 přídavných napětí, 4 termočlávkové měření teploty a spojení s klimatickou komorou Vötsch – teplota a vlhkost komory. Ovládání jednotlivých prvků je stejné jako u záložky BOX_1.1.

The screenshot displays the 'BOX 2.1' configuration window. At the top, there are tabs for 'Control', 'BOX_1.1', 'BOX_1.2', 'BOX_2.1', and 'Setting confi.'. The main area is divided into several sections. On the left, there are three columns of 'Aux curr.' (Auxiliary Current) channels, labeled CH 1-8, CH 9-16, and CH 17-24. Each channel has a status indicator (OFF), a numerical display (0), and a unit (A). In the center, there are three columns of 'Aux volt.' (Auxiliary Voltage) channels, also labeled CH 1-8, CH 9-16, and CH 17-24. Each channel has a status indicator (OFF), a numerical display (0), and a unit (V). On the right, there are four 'Temp.' (Temperature) channels, labeled Temp. CH 1, Temp. CH 2, Temp. CH 3, and Temp. CH 4. Each channel has a status indicator (OFF), a numerical display (0), and a unit (°C). Below these, there are 'Chamber temp.' and 'Humidity' sections, each with a status indicator (OFF), a numerical display (0), and a unit (°C and % respectively). At the bottom left, there are 'Channel names' and 'Save'/'Open' buttons. At the bottom right, there are notes: 'Note: Thermocouple type K' and 'Note: D-Sub/Cannon connector'. Red numbers 1, 2, 3, and 4 are overlaid on the image, pointing to the 'Aux curr.' channels, 'Aux volt.' channels, 'Temp.' channels, and 'Chamber temp.'/Humidity sections respectively.

Obrázek 52. Zobrazení měřených hodnot – přídavné napětí a proudy, teplota a vlhkost komory.

- 1) Přídavné proudy 1-24.
- 2) Přídavné napětí 1-24.
- 3) Termočlávkové měření teploty, možnost připojení až 4 termočlávků typu K.
- 4) *Chamber temp.* – teplota komory a *Humidity* – vlhkost komory.

Barevné označení zobrazovacích prvků je přizpůsobeno barvám připojovacích zdířek na čelním panelu TS.

Záložka *Setting confi.*

Nastavení portů připojených zařízení:

Keithley 1 – COM4

Keithley 2 – COM5

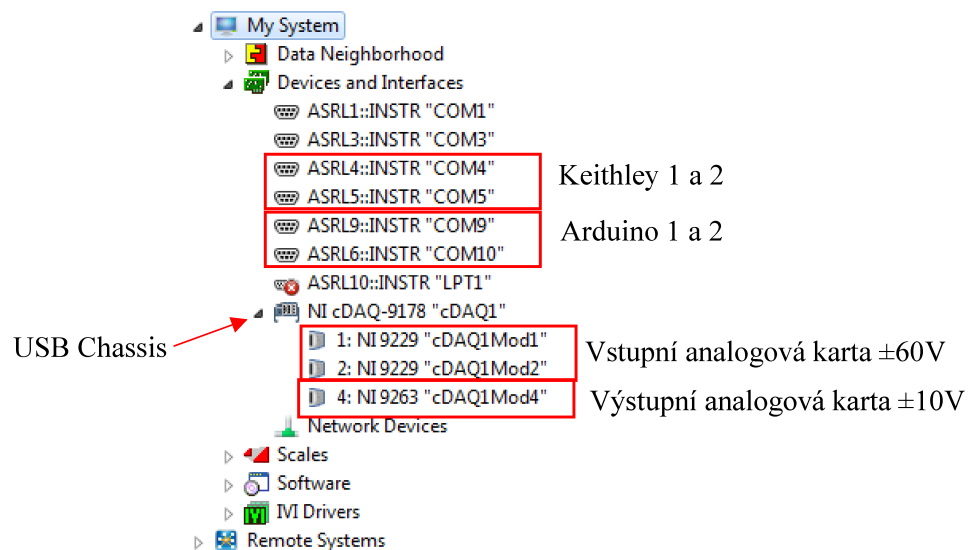
Arduino 1 – COM9

Arduino 2 – COM10

Nastavení kanálů výstupní analogové karty 9263:

Ovládání zdroje Delta → Ch 1 – cDAQMod4/ao0

Řídicí signál PWM → Ch 2 – cDAQMod4/ao1



Obrázek 53. Přihlášená zařízení v MAXu.

8 Odzkoušení TS na vybraném projektu

Test na vybraném projektu „LED xxx“ (PCB s LED technologií)

Teplotní schody STT – měření vstupních proudů testovaných vzorků xxx při teplotních schodech -40°C až $+105^{\circ}\text{C}$ pro napájecí napětí 9V a 13,5V. Měřené funkce: DRL, PO 10% 100Hz a DI. Cílem tohoto testu je ověření funkce „derating“, kdy dochází k proudovému omezení LED při zvyšující se teplotě nad daný limit.

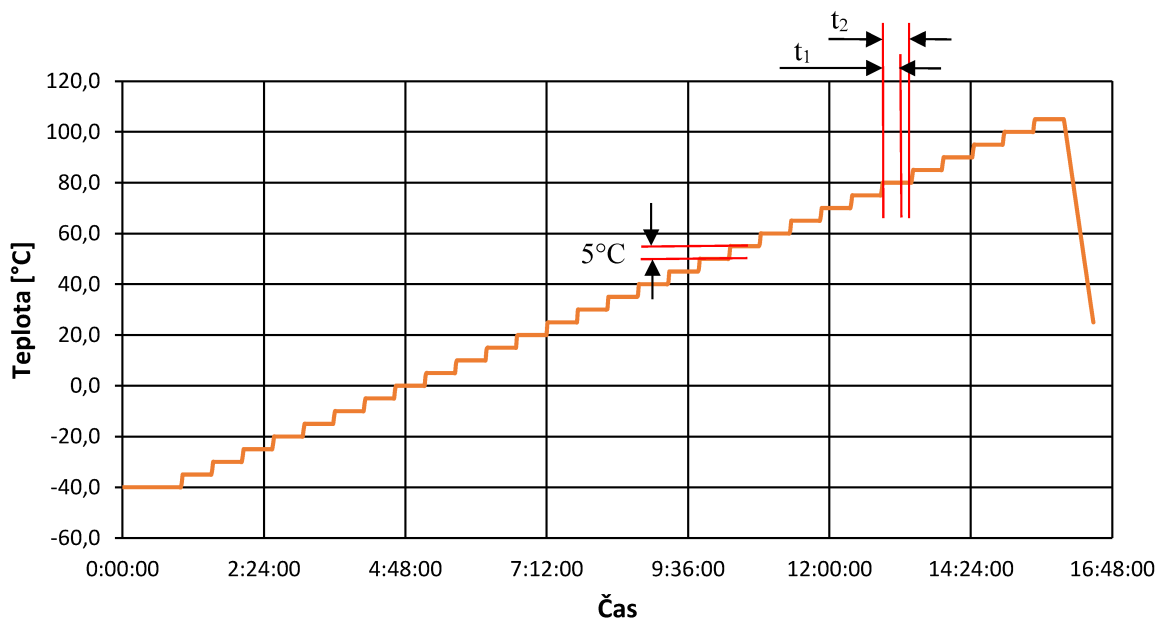
DRL – Světla pro denní svícení.

PO – Poziční světlo, tvořeno z DRL přivedením PWM signálu se střídou 10%.

DI – Indikační světlo, blinkr.

Parametry STT:

Průběh nastavované teploty s krokem 5°C . Doba ustálené teploty 25 minut, poté měření elektrických vlastností při dané teplotě.



Obrázek 54. Průběh teplotních schodů -40 až $+105^{\circ}\text{C}$.

t_1 – 25 minut, minimální požadovaná doba ustálené teploty, po které lze spustit měření.

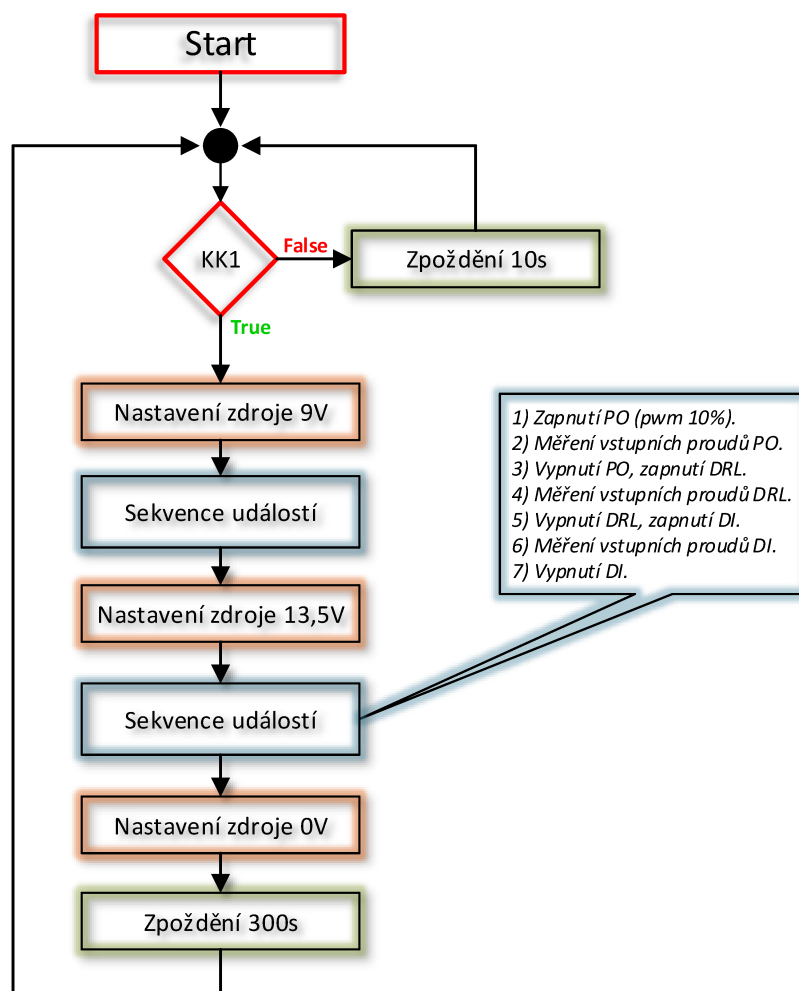
t_2 – 30 minut, pět minut vyhrazeno pro měření, poté začne komora opět měnit teplotu. Po dobu posledních pěti minut sepnut klima kontakt 1, který slouží jako Trigger TS.

Každá funkce testovaného vzorku spuštěna samostatně pouze na dobu měření vstupních proudů při dané teplotě, poté musí být vzorky opět vypnuté. Poziční světlo měřeno jako první, protože nejméně ovlivňuje teplotu PCB po jeho zapnutí, střída pouhých 10% výrazně snižuje výkon a tedy i tepelné ztráty.

Celková doba testu je cca 16 hodin, jedná se pouze o vzestupnou rampu.

Nastavení programu TS:

Nastavení napěťového zdroje a měření elektrických vlastností testovaných vzorků pouze v případě je-li klima kontakt 1 sepnut. Po sepnutí klima kontaktu provedeno nastavení zdroje na 9V a měření vstupních proudů všech funkcí, ty musí být měřeny samostatně, poté nastavení zdroje na 13,5V a opětovné měření všech funkcí. Sled událostí TS lze vidět na blokovém diagramu Obrázek 55.



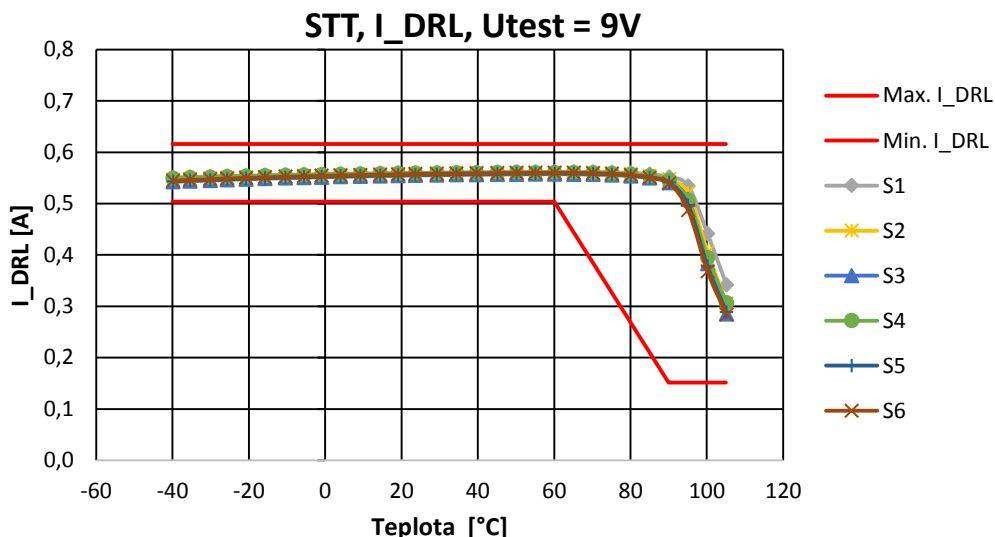
Obrázek 55. Blokový diagram programu TS při testu STT na vybraném projektu.

Popis blokového diagramu – Po spuštění aplikace je změřen klima kontakt 1, pokud je sepnutý, nastavený program je vykonán, v opačném případě se měření KK1 provádí znovu po deseti vteřinách. Program je nastaven, aby se jako první nastavil zdroj Delta na 9V, poté se provedla sekvence událostí: zapnutí napájecích kanálů pozičního světla PO a nastavení PWM signálu na 10% 100Hz pro změření vstupních proudů PO, dále vypnutí PO a zapnutí napájecích kanálů pro DRL, zde je přivedeno přímé napětí z napájecího zdroje, opět proměření vstupních proudů, to samé pro funkci DI. Následně se nastaví zdroj na 13,5V a sekvence událostí se provede opakovaně. Po skončení měření a vypnutí napájecích kanálů zůstává program stát 300s, což je maximální doba, po kterou je KK1 sepnut. Důvodem této časové prodlevy je aby se další měření provedlo až pro další teplotní úroveň.

Výsledky měření:

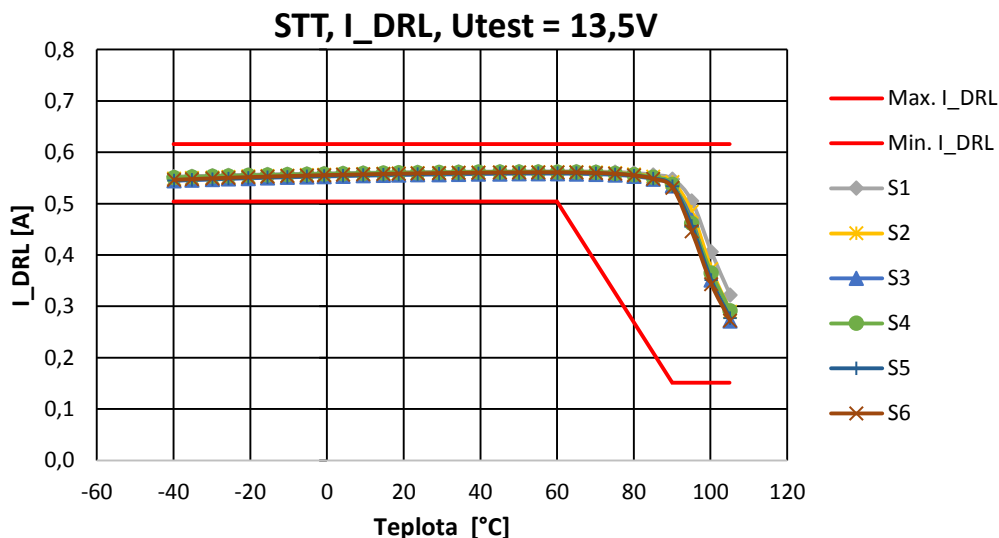
Měřeno bylo 6 vzorků (PCB osazené LED technologií a řídicím obvodem) při dvou napájecích napětí 9V a 13,5V. Na testovaných vzorcích byly měřeny tři funkce, výsledné měření je vyhodnoceno v šesti grafech. Pro ukázkou znázorněny pouze grafy jedné funkce DRL.

Grafy znázorňují vstupní proud testovaného PCB v závislosti na teplotě. Lze tedy vidět funkci derating, kdy dochází k omezení proudu od určité úrovně teploty.



Obrázek 56. Derating vstupního proudu DRL při 9V.

Průběhy vstupních proudů musí ležet mezi stanovenou dolní a horní tolerancí (Max. I_{DRL} a Min. I_{DRL}).



Obrázek 57. Derating vstupního proudu DRL při 13,5V.

Z obou grafů lze vidět stejné průběhy vstupních proudů při dvou různých napájecích napětí. Obvod totiž obsahuje proudový zdroj, který dodává LED diodám stejný proud při různých napájecích napětí.

Výsledné hodnoty jsou měřeny dle kalibračního listu s přesností $\pm 2\%$.

9 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sestavení testovacího systému pro měření elektrických veličin LED světlometů během teplotních zátěžových testů. Testovací systém je určen pro dlouhodobé vícekanálové měření proudů a napětí. Umožňuje také měření teplot pomocí termočlánků typu K. Výstupem měření je dlouhodobé logování změřených dat do tabulkového souboru pro možné vyhodnocení testů.

Testovací systém byl navržen tak, aby veškeré operace byly řízeny z jednoho počítače pomocí vytvořené ovládací aplikace v prostředí LabVIEW. Díky vytvořenému SW lze ovládat především: napěťový zdroj Delta, jednotlivé napájecí kanály, digitální multimetr Keithley 2700 a synchronizace s klimatickou komorou Vötsch.

Konstrukční řešení testeru muselo být přizpůsobeno rozměrům HW komponent a obsazení velkého počtu měřených a napájecích kanálů. Celý testovací systém je modulárně rozdělen do 19“ přístrojové skříně a lze s ním snadno manipulovat pro přesun mezi laboratořemi.

Požadavky na testovací systém byly splněny ve všech bodech, ovšem kvůli složitosti systému došlo k časovému prodloužení dokončení výsledné práce. Konečné datum předání hotového testeru bylo posunuto cca o 3 měsíce oproti předpokládanému. Největší zpoždění vzniklo při konstrukčním zhotovení a to z důvodu velkého rozsahu měřicích a napájecích kanálů. Celková doba pro návrh a realizaci testeru byla 1 rok.

Jako inovaci bych doporučil udělat nový návrh přepínací karty, která řídí 24 napájecích kanálů testovacího systému. Pro ovládání této přepínací karty je zapotřebí 48 digitálních kanálů, což je velice nepraktické. Řešením bych volil implementaci nějakého kontroléru s minimálním počtem 48 dig. pinů přímo do desky přepínací karty, vstupem pro ovládání by bylo pouze komunikační rozhraní např. USB.

Literatura

- [1] LÁNÍČEK, Robert. *Elektronika: obvody, součástky, děje*. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-25-2.
- [2] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. Přeložil Jiří NOBILIS, přeložil Vlastislav KAZDA. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-123-3.
- [3] SLOVÁČEK, Petr. *Halogen vs. xenon vs. diody: Žárovky ještě nevymřely* [online]. 2014 [cit. 2017-04-10].
Dostupné z: <http://www.auto.cz/halogen-vs-xenon-diody-zarovky-jeste-nevymrely-80531>
- [4] PRAUZEK, Michal. *Číslicová a mikroprocesorová technika, část druhá: Komunikační rozhraní a protokoly*. Ostrava, 2013. Učební text. VŠB - TU Ostrava.
- [5] KAINKA, Burkhard. *USB: měření, řízení a regulace pomocí sběrnice*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-073-3.
- [6] DUDÁČEK, K. *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN* [online]. 2002, 11-19 [cit. 2017-04-15].
Dostupné z: http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf
- [7] POLÁK, Karel. *Sběrnice CAN* [online]. VUT FEKT Brno, 2003 [cit. 2017-04-15].
Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- [8] ŠVIMBERSKÝ, Z. *LIN - Local Interconnect Network*. Poděbrady, 2006. Bakalářská práce. České vysoké učení technické Praha.
- [9] *DELTA ELEKTRONIKA: SM 1500 DC POWER SUPPLIES* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16].
Dostupné z: http://www.delta-elektronika.nl/upload/dts_sm1500.pdf
- [10] *Keithley Model 2700. Keithley Instruments* [online]. 2016 [cit. 2017-04-20].
Dostupné z: <http://www.tek.com/switching-and-data-acquisition-systems/2700-multimeter-data-acquisition-switch-systems-manual/mode-0>
- [11] *NI 9229. National Instruments* [online]. 2015 [cit. 2017-04-20].
Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/manuals/374184c_02.pdf
- [12] *NI 9263. National Instruments* [online]. 2015 [cit. 2017-04-20].
Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/manuals/373781b_02.pdf
- [13] *Arduino MEGA 2560* [online]. [cit. 2017-04-20].
Dostupné z: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>
- [14] *TS555C,IM: LOW POWER SINGLE CMOS TIMERS. STMicroelectronics* [online]. Italy, 1999, , 9 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25479/STMICROELECTRONICS/TS555CN.html>

Seznam příloh:

Příloha 1 – Proudový zesilovač PWM signálu (kapitola <u>5.3.2</u>)	2 strany
Příloha 2 – Návrhy čelních panelů TS (kapitola <u>6.2</u>)	3 strany
Příloha 3 – Napájecí sekce TS (kapitola <u>6.2</u>)	2 strany
Příloha 4 – Ovládání přepínací karty digitálními piny Arduina, detailní označení pinů a logické kombinace (kapitola <u>7.4</u>)	1 strana
Příloha 5 – Ukázka nasazení testovacího systému v praxi	1 strana

Příloha na DVD

Složky:

- Arduino a LabVIEW – kódy pro Arduino a LabVIEW
- Drivers – potřebné ovladače pro systém Windows

Katalogové listy:

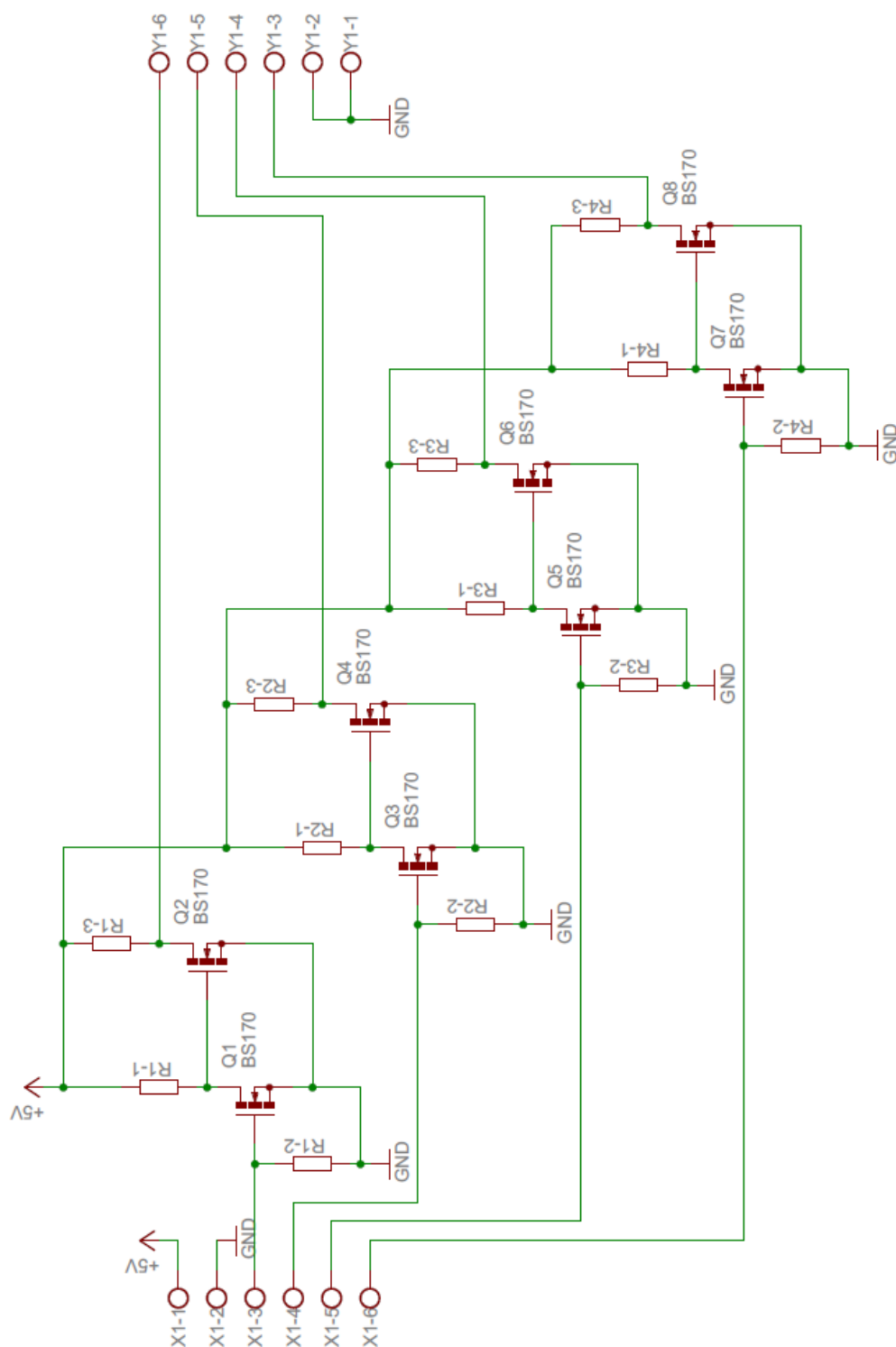
- BS170-unipolarni tranzistor_datasheet.pdf
- Delta Elektronika_SM 1500.pdf
- KEITKLEY model 2700 Manual.pdf
- TS555CN_datasheet.pdf

Tabulkový soubor:

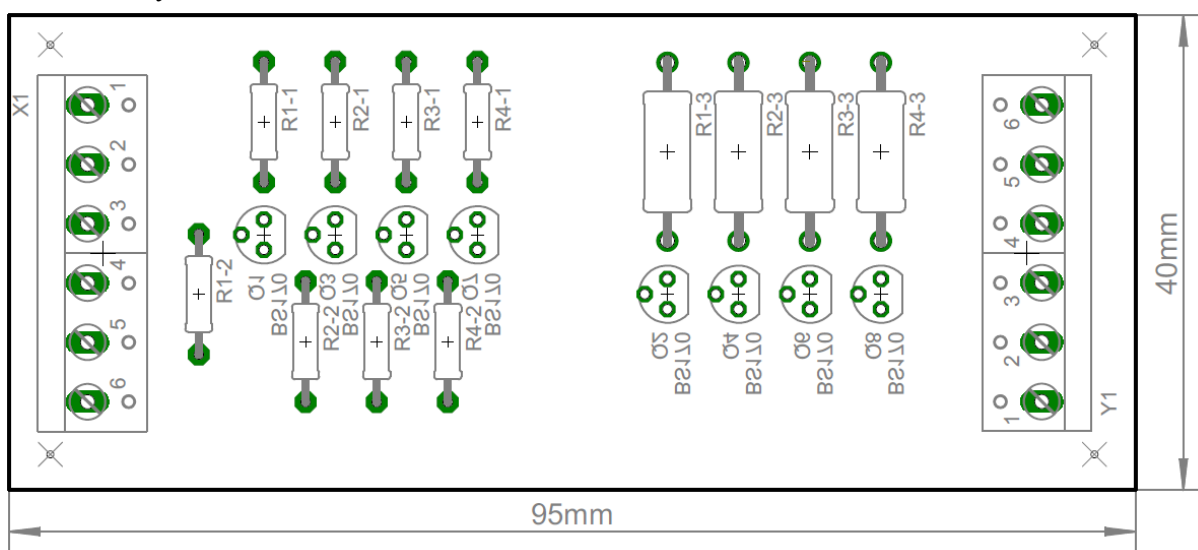
- Keithley – obsazení měřicích kanálů.xlsx

Příloha 1 – Proudový zesilovač PWM signálu (kapitola 5.3.2)

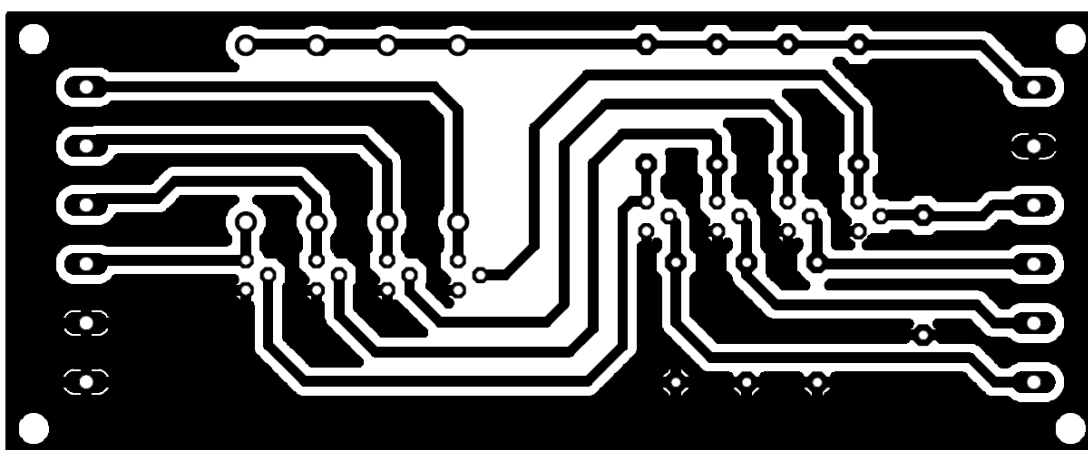
Schéma zapojení proudového zesilovacího členu PWM signálu:



DPS ze strany součástek:

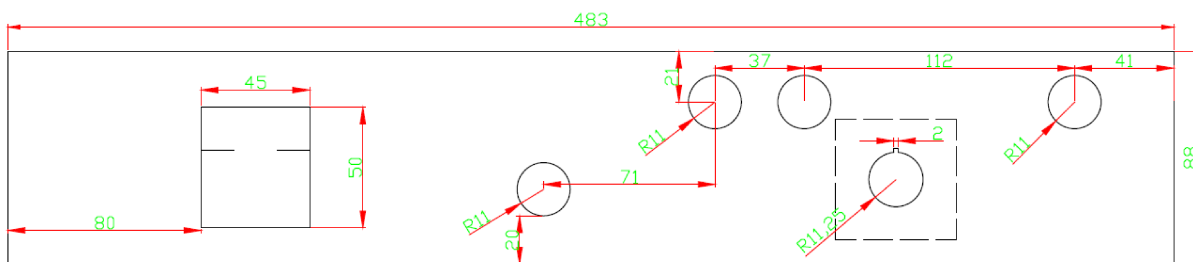


Předloha pro výrobu DPS (zrcadlově):

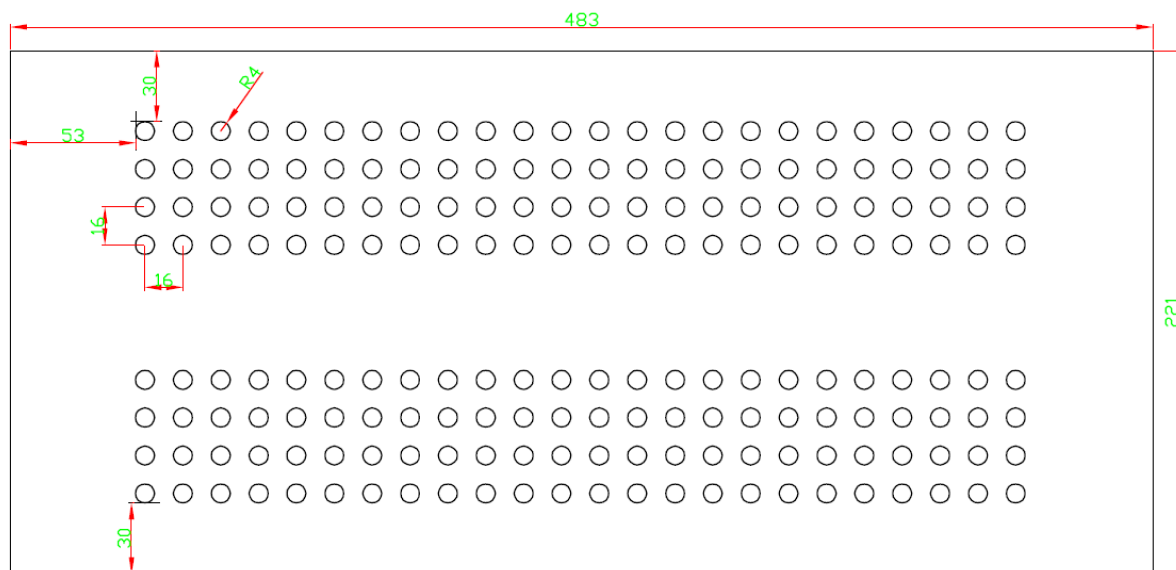


Příloha 2 – Návrhy čelních panelů TS (kapitola 6.2)

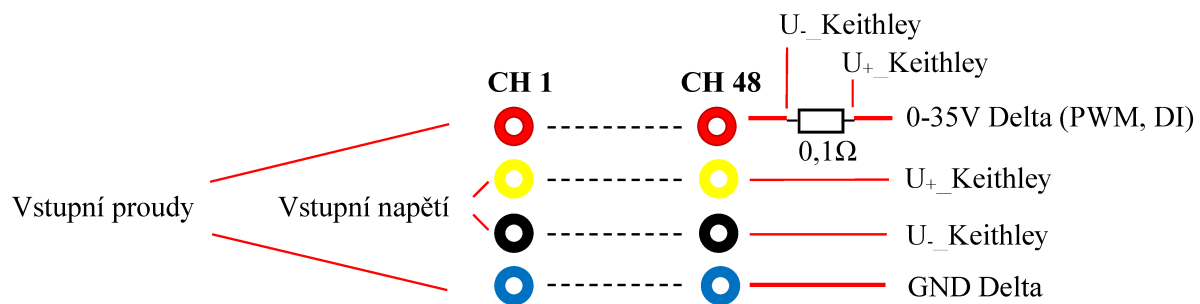
Návrh čelního panelu napájecí sekce:



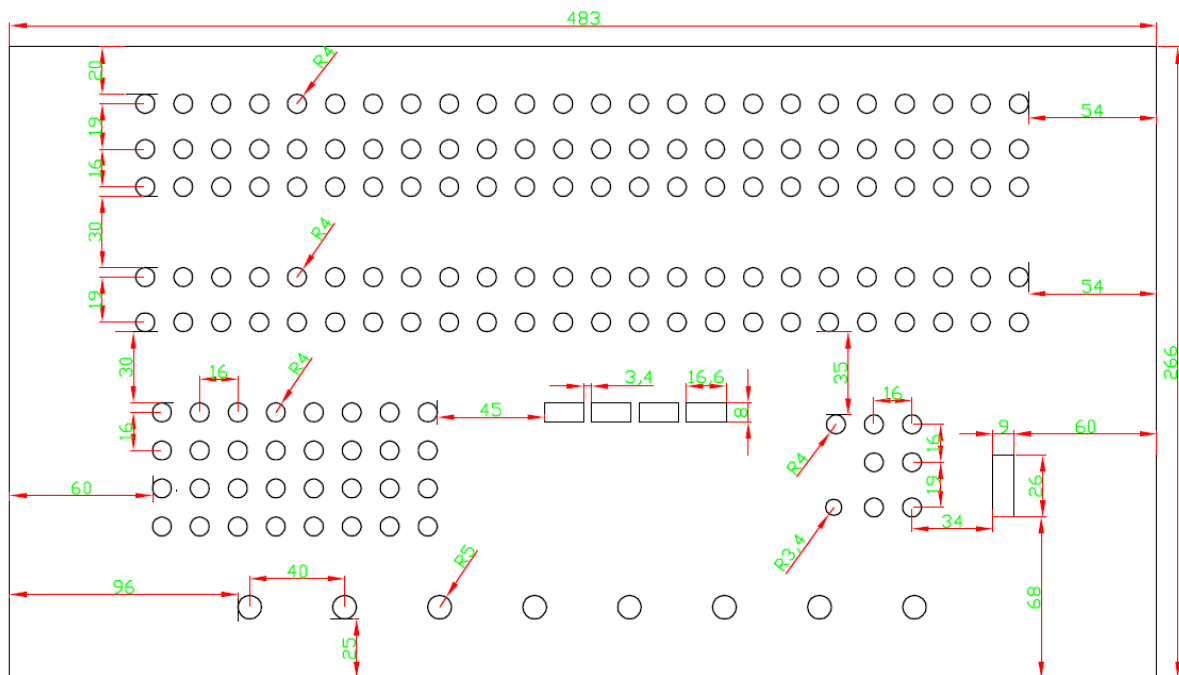
Návrh čelního panelu pro box1:



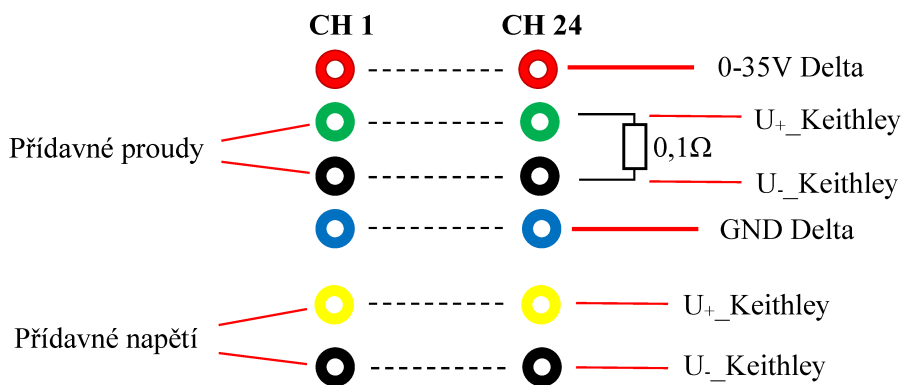
Barevné označení připojovacích zdílek čelního panelu boxu1:



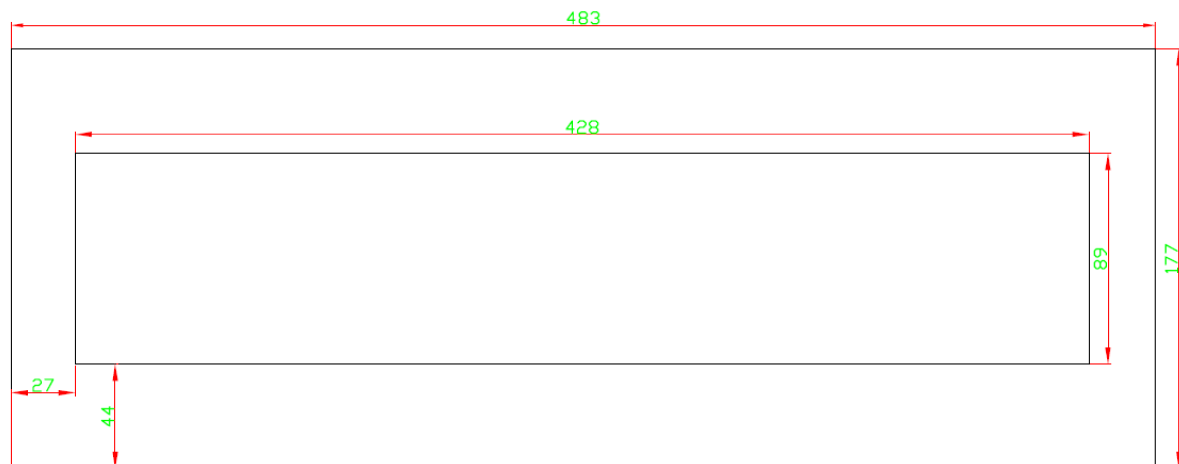
Návrh čelního panelu pro BOX2:



Barevní označení připojovacích zdírek čelního panelu boxu2:

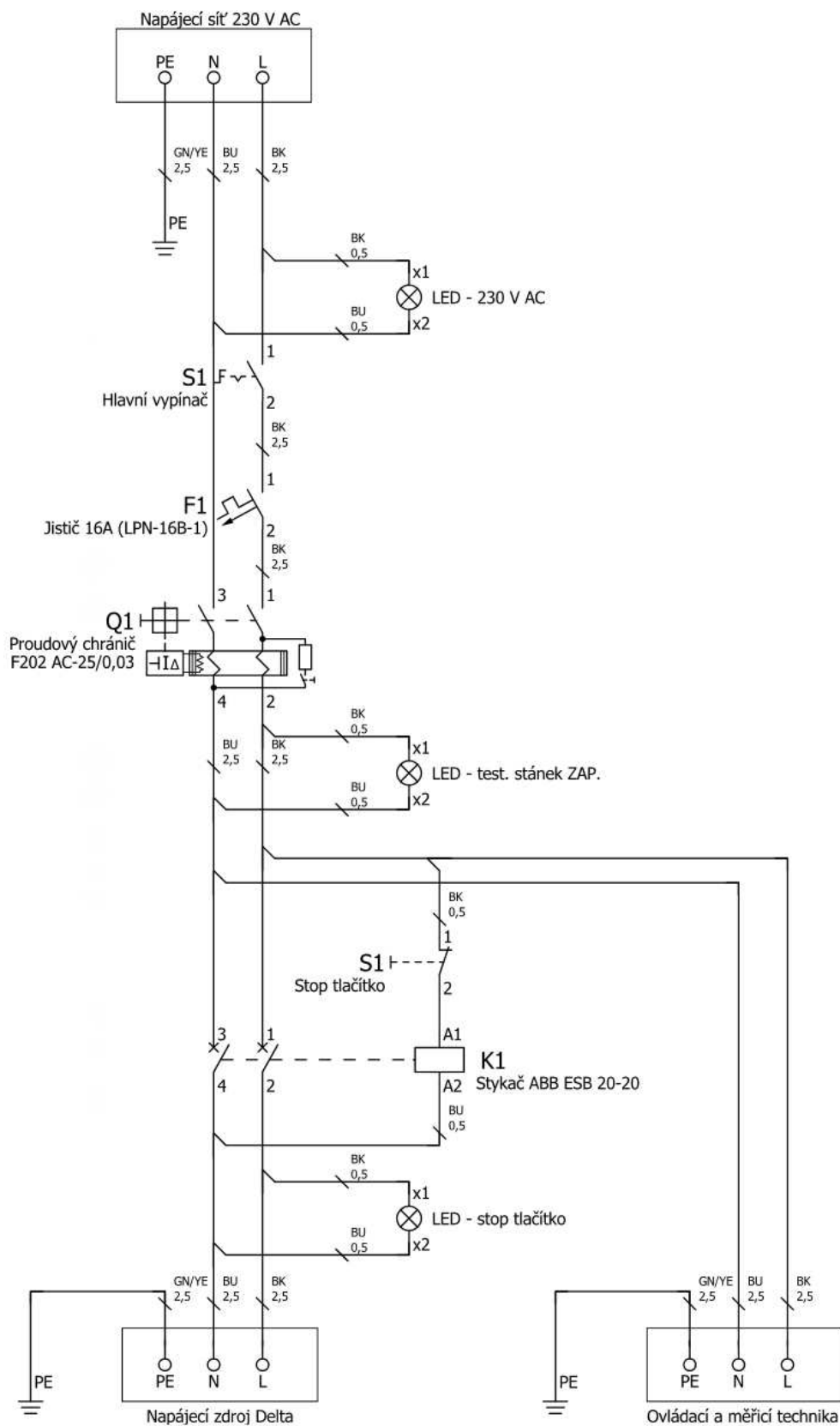


Návrh čelního panelu pro dva stolní multimetry Keithley:



Příloha 3 – Napájecí sekce TS (kapitola 6.2)

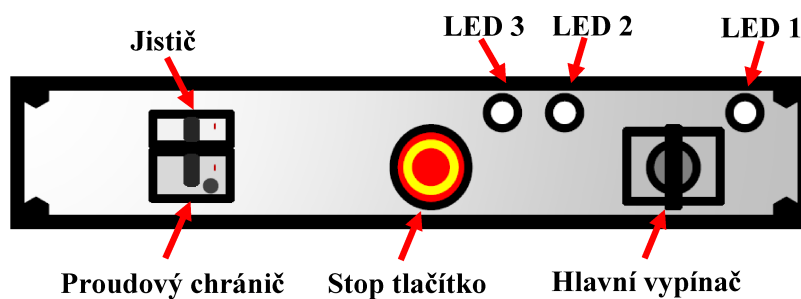
Schéma zapojení napájecí sekce:



Komponenty napájecí sekce:

Počet kusů	Název	Technické parametry
1x	Hlavní vypínač ABB	25A/~400V/1-fázový
1x	Jistič EATON	typ B 16A/~230→400V
1x	Proudový chránič ABB	F202 AC 25A/0,03A
1x	Stop tlačítko	max. 5A
1x	Stykač ABB ESB	20-20 20A/~230V (N/O)
3x	LED indikátor do panelu	~230V (bílá)
1x	Skříň 19"	2U 88x444x310mm
1x	Napájecí kabel	2,5mm ²
2x	Zásuvka do panelu	16A/250V, typ F (modrá)

Čelní panel napájecí sekce:



LED1 – ~230V

LED2 – napájen testovací stánek kromě zdroje Delta

LED3 – napájen i zdroj Delta

Příloha 4 – Ovládání přepínací karty digitálními piny Arduina, detailní označení pinů a logické kombinace (kapitola 7.4)

Napájecí kanál	Arduino 1 a 2 dig. kanály		Log. kombinace pro výběr řídicího signálu			
	bit1	bit2	X0	X1	X2	X3
Ch1 a Ch25	18	20	00	01	10	11
Ch2 a Ch26	22	24	00	01	10	11
Ch3 a Ch27	26	28	00	01	10	11
Ch4 a Ch28	30	32	00	01	10	11
Ch5 a Ch29	34	36	00	01	10	11
Ch6 a Ch30	38	40	00	01	10	11
Ch7 a Ch31	42	44	00	01	10	11
Ch8 a Ch32	46	48	00	01	10	11
Ch9 a Ch33	13	15	00	10	01	11
Ch10 a Ch34	9	11	00	10	01	11
Ch11 a Ch35	5	7	00	10	01	11
Ch12 a Ch36	1	3	00	10	01	11
Ch13 a Ch37	2	4	00	01	10	11
Ch14 a Ch38	6	8	00	01	10	11
Ch15 a Ch39	10	12	00	01	10	11
Ch16 a Ch40	14	16	00	01	10	11
Ch17 a Ch41	45	47	00	10	01	11
Ch18 a Ch42	41	43	00	10	01	11
Ch19 a Ch43	37	39	00	10	01	11
Ch20 a Ch44	33	35	00	10	01	11
Ch21 a Ch45	29	31	00	10	01	11
Ch22 a Ch46	25	27	00	10	01	11
Ch23 a Ch47	21	23	00	10	01	11
Ch24 a Ch48	17	19	00	10	01	11

Příloha 5 – Ukázka nasazení testovacího systému v praxi

Testovací systém umístěn vedle klimatické komory Vötsch:



Testované vzorky:

